



**ČVUT**  
ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE

**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

**Předúpravy a čištění povrchů pro technologie  
lepení**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**AUTOR:** Daniel Černý

**VEDOUCÍ PRÁCE:** Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., IWE

**STUDIJNÍ PROGRAM:** B 2343 Výroba a ekonomika ve strojírenství

**STUDIJNÍ OBOR:** 2303R014 Technologie, materiály a ekonomika  
strojírenství

**Praha 2021**



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Černý** Jméno: **Daniel** Osobní číslo: **476940**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**  
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Předúpravy a čištění povrchů pro technologie lepení**

Název bakalářské práce anglicky:

**Pretreatment and cleaning of surfaces for bonding technologies**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Teorie lepeného spoje
- 2) Pasivní a aktivní úpravy povrchů
- 3) Zjišťování čistoty povrchů
- 4) Adhezní zkouška
- 5) Diskuze výsledků

Seznam doporučené literatury:

1. KREIBICH, V., Teorie a technologie povrchových úprav, Praha, ČVUT, Praha, 1999.
2. PETRIE M. E., Handbook of Adhesives and Sealants, Third Edition 3rd Edition. 800 s. ISBN 978-1260440447

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

**Ing. Martin Chvojka, ústav strojírenské technologie FS**

Datum zadání bakalářské práce: **15.04.2021** Termín odevzdání bakalářské práce: **06.08.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2021**

Ing. Jiří Kuchař, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jiřího Kuchaře, Ph.D., IWE, a to pouze pomocí podkladů uvedených v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne: .....

.....

Podpis autora

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Kuchařovi, Ph.D., IWE za odborné vedení, konzultace a cenné rady během vypracovávání této práce a také za přípravu vzorků. Také děkuji Ing. Martinu Chvojkovi za přínosné poznatky a čas věnovaný konzultaci. Velké poděkování také patří všem, co mě při tvorbě této práce podporovali.

## Anotace

<b>Název diplomové práce:</b>	Předúpravy a čištění povrchů pro technologie lepení
<b>Autor práce:</b>	Daniel Černý
<b>Vedoucí práce:</b>	Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., IWE
<b>Konzultant:</b>	Ing. Martin Chvojka
<b>Akademický rok:</b>	2020-2021
<b>Vysoká škola:</b>	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
<b>Ústav:</b>	12133 – Ústav strojírenské technologie
<b>Vedoucí ústavu:</b>	Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
<b>Rozsah práce:</b>	60 stran práce + 4 strany přílohy, 4 tabulky, 29 obrázků
<b>Klíčová slova:</b>	adheze, smáčivost, lepený spoj, substrát, předúprava povrchu

## Annotation

<b>Title of the final thesis:</b>	Pretreatment and cleaning of surfaces for bonding technologies
<b>Author:</b>	Daniel Černý
<b>Supervisor:</b>	Ing. Jiří Kuchař, Ph.D., IWE
<b>Consultant:</b>	Ing. Martin Chvojka
<b>Academic year:</b>	2020-2021
<b>University:</b>	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
<b>Department:</b>	12133 – Department of Manufacturing Technology
<b>Head of department:</b>	Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE
<b>Extent:</b>	60 pages of thesis + 4 appendix pages, 4 tables, 29 pictures
<b>Keywords:</b>	adhesion, wettability, adhesive bond, substrate, surface pretreatment

## **Abstrakt**

Teoretická část této bakalářské práce se zabývá problematikou teorie lepeného spoje. Přibližuje aktivní a pasivní metody předúpravy povrchu před lepením. Dále také popisuje metody pro zjišťování čistoty povrchu.

V experimentální části práce jsou zhodnoceny různé metody předúprav povrchu z hlediska smáčivosti, adheze a pevnosti lepeného spoje za účelem určení vhodné technologie předúpravy pro zaručení dostatečné kvality spoje.

## **Abstract**

The theoretical part of this thesis deals with problematics of adhesive bond theory basics. Active and passive methods of surface pretreatment together with methods for surface cleanliness assessment are described in this part of the thesis.

In the experimental part different methods of surface pretreatment are compared from the standpoint of wettability, adhesion and joint strength for purposes of determining a surface pretreatment process that guarantees sufficient adhesive bond quality.

# Obsah

1	ÚVOD .....	13
2	TEORIE LEPENÉHO SPOJE.....	14
2.1	Povrchové napětí .....	14
2.2	Smáčivost .....	14
2.3	Adheze a koheze .....	14
2.4	Teorie adheze.....	14
2.4.1	Molekulová (adsorbční) teorie .....	14
2.4.2	Difuzní teorie .....	15
2.4.3	Elektrostatická teorie .....	15
2.4.4	Mechanická teorie .....	15
2.4.5	Chemická teorie.....	15
2.5	Dělení adheziv .....	16
2.5.1	Termosety.....	16
2.5.2	Termoplasty .....	16
2.5.3	Elastomery .....	16
2.5.4	Hybridní adheziva .....	17
3	PŘÍPRAVA POVRCHU PŘED LEPENÍM .....	17
3.1	Pasivní úpravy povrchu .....	18
3.2	Pasivní chemické úpravy .....	18
3.2.1	Odmašťování .....	18
3.2.2	Odmašťování v organických rozpouštědlech .....	18
3.2.3	Odmašťování ve vodných alkalických roztocích .....	19
3.2.4	Elektrolytické odmašťování .....	20



3.2.5	Odmašťování ultrazvukem .....	20
3.2.6	Emulzní odmašťování .....	21
3.2.7	Odmašťování parou .....	21
3.2.8	Oplach.....	21
3.3	Pasivní mechanické úpravy .....	22
3.3.1	Broušení.....	22
3.3.2	Kartáčování .....	23
3.3.3	Tryskání.....	23
3.3.4	Tryskací prostředky.....	24
3.3.5	Pneumatické tryskání .....	26
3.3.6	Tryskání metacími jednotkami .....	27
3.3.7	Mokrý otryskávání.....	27
3.4	Aktivní úpravy povrchu .....	27
3.5	Aktivní chemické úpravy povrchu.....	27
3.5.1	Primery .....	28
3.6	Aktivní chemické úpravy povrchu kovů .....	28
3.6.1	Moření .....	28
3.6.2	Moření oceli v kyselině chlorovodíkové .....	29
3.6.3	Moření oceli v kyselině sírové .....	29
3.6.4	Aktivace .....	30
3.6.5	Konverzní vrstvy .....	30
3.6.6	Chromátování .....	31
3.6.7	Fosfátování .....	31
3.6.8	Anodická oxidace.....	31
3.7	Aktivní chemické úpravy povrchu polymerů .....	32
3.7.1	Leptání povrchu polymerů .....	32

3.7.2	Fluorace .....	32
3.8	Aktivní fyzikální úpravy povrchu polymerů .....	33
3.8.1	Koronování.....	33
3.8.2	Plazmová předúprava povrchu.....	33
3.8.3	Předúprava povrchu plamenem.....	34
4	ZJIŠŤOVÁNÍ ČISTOTY POVRCHŮ .....	34
4.1	Hodnocení čistoty povrchů pomocí adhezní pásky .....	34
4.2	Hodnocení čistoty povrchů pomocí kontaktního úhlu .....	35
4.3	Hodnocení čistoty povrchů stíráním.....	35
4.4	Opticky stimulovaná elektronová emise (OSEE).....	35
5	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	37
5.1	Příprava vzorků .....	37
5.1.1	Vzorek bez úpravy .....	38
5.1.2	Kartáčovaný vzorek .....	38
5.1.3	Odmaštěný vzorek.....	38
5.1.4	Broušený a odmaštěný vzorek .....	39
5.1.5	Broušený, odmaštěný a mořený vzorek.....	39
5.2	Zkouška smáčivosti kapkovou metodou.....	40
5.2.1	Oblast užití.....	40
5.2.2	Pomůcky potřebné k provedení zkoušky .....	40
5.2.3	Postup zkoušky .....	40
5.3	Housenková zkouška přilnavosti.....	40
5.3.1	Oblast užití.....	40
5.3.2	Pomůcky potřebné k provedení zkoušky .....	41
5.3.3	Postup zkoušky .....	41
5.4	Odlupová zkouška .....	43

5.4.1	Oblast užití .....	43
5.4.2	Pomůcky potřebné k provedení zkoušky .....	43
5.4.3	Postup zkoušky .....	43
5.4.4	Hodnocení porušení spoje .....	44
6	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI A DISKUZE VÝSLEDKŮ .....	45
6.1	Zkouška smáčivosti kapkovou metodou .....	45
6.2	Housenková zkouška přilnavosti .....	47
6.3	Odlupová zkouška .....	51
7	ZÁVĚR.....	55
	ZDROJE:.....	56

## Seznam použité symboliky

Označení	Název
l	litr
ml	mililitr
kg	kilogram
kPa	kilopascal
$\mu\text{m}$	mikrometr
mm	milimetr
$\text{cm}^2$	centimetr čtvereční
$^{\circ}\text{C}$	stupeň Celsia
$^{\circ}$	stupeň
%	procento

# 1 ÚVOD

Lepené spoje zaujímají v současné technologii podstatnou část moderní výroby. Takové spoje umožňují trvalé a pevné spojení dvou povrchů stejných či rozdílných materiálů za pomoci lepidla. Kvalita lepeného spoje závisí na množství komplikovaných faktorů. Jedním z hlavních faktorů je adheze k lepeným materiálům, která je ovlivněna zejména volbou vhodného lepidla, procesu lepení pro daný materiál, geometrií spoje a stavem povrchu výrobku. Před samotným provedením spoje je nutné povrch lepeného materiálu vyčistit či provést vhodnou předúpravu.

Teoretická část této práce obsahuje informace o základní teorii lepeného spoje, popisy technologií úprav povrchu pro lepení a hodnocení čistoty povrchu. Zvláštní důraz je kladen na popis aktivních a pasivních metod úprav povrchu.

V experimentální části práce je obsaženo hodnocení a porovnání vzorků, u kterých byly zařazeny různé technologie předúpravy povrchu. Úkolem této části práce je porovnat různé metody úpravy povrchu z hlediska smáčivosti, adheze a pevnosti lepeného spoje.

Cílem této práce je srovnání různých metod předúpravy povrchu z hlediska smáčivosti, adheze a pevnosti spoje a určení vhodné technologie předúpravy povrchu pro zaručení dostatečné kvality lepeného spoje.

## **2 TEORIE LEPENÉHO SPOJE**

### **2.1 Povrchové napětí**

Základem pro teorii povrchového napětí jsou základní pravidla – Molekuly kapaliny jsou drženy pohromadě přitažlivými silami, jejichž celkový součet je nulový a kohezní síly na povrchu jsou nenulové a směřují do vždy středu celku. Tyto kohezní síly musí být překonány pro zvětšení povrchu pokrytého kapalinou. Tyto síly způsobí, že kapalina přijme tvar, který zaujímá nejmenší plochu. Proto tvoří kapalina kapky ve tvaru koule. Povrchové napětí je tedy definováno jako energie potřebná k vratnému izotermickému zvětšení povrchu o jednotku plochy. Pro dobrou smáčivost musí být povrchové napětí adheziva znatelně menší než povrchové napětí adherendu [1], [2].

### **2.2 Smáčivost**

Jedná se o proces ustálení plného kontaktu adheziva s adherendem. Aby adhezivo smáčelo pevný povrch, mělo by mít menší povrchové napětí než kritické povrchové napětí daného povrchu. Dobrá smáčivost umožní potřebné zatečení adheziva do nerovností povrchu. Špatná smáčivost způsobuje menší plochu kontaktu adheziva s adherendem a tím menší pevnost. Smáčivost může být určena měřením kontaktního úhlu [1].

### **2.3 Adheze a koheze**

Výsledná kvalita lepeného spoje je dána především adhezními a kohezními silami. Adhezní síly drží pohromadě dva materiály na jejich rozhraní. Kohezní síly drží v celku jeden materiál (působí uvnitř materiálu). Tyto síly jsou výsledky sil, kterými na sebe vzájemně působí atomy a molekuly. Vlastní mechanismus adhezní vazby není přesně určen. Existuje několik teorií, které popisují adhezi a každá z těchto teorií obsahuje informace potřebné k návrhu kvalitního spoje [1].

### **2.4 Teorie adheze**

#### **2.4.1 Molekulová (adsorbční) teorie**

Dle adsorbční teorie je adheze výsledkem kontaktu molekul dvou materiálů a povrchových sil. Pokud je adherend v dostatečném kontaktu s adhezivem na molekulární úrovni, zajišťují dostatečné spojení van der Waalovy síly. Kontakt na molekulární úrovni

je závislý zejména tedy na smáčivosti. Špatná smáčivost způsobuje menší plochu kontaktu a vznik vzduchových bublin [1].

#### *2.4.2 Difuzní teorie*

Tato teorie navrhuje, že adheze je vytvořena difuzí molekul mezi adhezivem a adherendem. Jelikož většina polymerů není kompatibilní je tato teorie platná pouze pro spojování podobných pryžových polymerů s pohyblivými řetězci [3].

#### *2.4.3 Elektrostatická teorie*

Na rozhraní adheziva s adherendem vznikají elektrostatické síly ve formě dvojité elektrické vrstvy vlivem přesunu elektronů mezi adhezivem a adherendem. Tyto síly působí proti oddělení spoje. Teorii podporuje fakt, že při oddělení adhezního spoje byly zaznamenány elektrické výboje [1], [4].

#### *2.4.4 Mechanická teorie*

Dle této teorie dojde k adhezi díky penetraci adheziva do pórů, otvorů a dalších povrchových nerovností substrátu. Adheziva často tvoří pevnější spoje na pórovitém a hrubém povrchu než na povrchu hladkém, toto tvrzení ovšem není platné univerzálně, jelikož je možné dosáhnout kvalitní adheze na hladkém povrchu. Hrubost povrchu může zvětšit adhezi díky zvětšení celkové kontaktní plochy. Pevnost spoje může zvýšit také zvětšení stykové plochy [1], [4].

#### *2.4.5 Chemická teorie*

Tato teorie přiděluje vznik adhezního spoje chemickým vazbám. Vodíkové, kovalentní a iontové vazby, které vznikají mezi adhezivem a adherendem jsou silnější než přitažlivé síly. Kovalentní a iontové vazby poskytují nejvyšší hodnoty adheze a jsou běžně nejsilnějšími a nejtrvalejšími vazbami, ale k jejich vzniku je potřeba vzájemně reaktivních chemických skupin. Materiály jako dřevo, kompozity či některé plasty obsahují funkční skupiny, které mohou za vhodných podmínek tvořit chemické vazby s adhezivem [2], [4].

## **2.5 Dělení adheziv**

### **2.5.1 Termosety**

Materiály, které nemohou být po vytvrzení opětovným zahříváním roztaveny. Vytvrzení probíhá chemickými reakcemi za pokojové či zvýšené teploty v závislosti na druhu lepidla. Některé termosety potřebují ke spojení značný tlak, u jiných je dostačující tlak při kontaktu. Tato lepidla mohou být jednosložková či dvousložková, v pevné nebo kapalné formě, či jako pasta [4].

Pro vytvrzení jednosložkových systémů může být potřeba zvýšené teploty. Dvousložková lepidla lze vytvrzovat za pokojové teploty či urychleně za vyšších teplot. Nevýhodou dvousložkových systémů je potřeba důkladného měření a míchání komponent pro zajištění výsledné homogenní směsi. Termosetní pryskyřice jsou odolné proti teplu a rozpouštědlům díky jejich prosítní a spoje odolávají zvýšeným teplotám až 260 °C. Mezi termosety se řadí kyanoakryláty, polyestery, urea-formaldehydy, epoxidy, polyimidy, akryláty a další [1], [4].

### **2.5.2 Termoplasty**

Jsou obecně materiály, u kterých při vytvrzení nevznikne prosíťování a mohou být znovu roztaveny bez znatelných změn ve vlastnostech. Jsou to vždy jednosložkové systémy, které tvrdnou při chladnutí z roztaveného stavu či při odpaření obsaženého rozpouštědla a vody. Termoplasty nelze užít při teplotách nad 66 °C. Využívají se především v namáhaných spojích při spojování neželezných materiálů jako plastů, dřeva či papíru. Mezi termoplasty se řadí PVC, Fenolická lepidla, Polyamidy a další [1], [4].

### **2.5.3 Elastomery**

Jsou materiály založené na syntetických či přírodně se vyskytujících elastomerních polymerech. Tato adheziva jsou tvořena polymerickými pryskyřicemi. Mají vysokou houževnatost a jsou schopné velkých prodloužení či stlačení. Rychle se navracejí do původních rozměrů a tvaru po odlehčení. Díky této vlastnosti mají dobrou schopnost pohlcování energie. Elastomery mohou být termosetní i termoplastické [1], [4].



Elastomerní adheziva jsou k dispozici jako rozpustné látky, vodní či jiné disperze, pásky citlivé na tlak, jednosložkové či vícesložkové pasty a jiné kapaliny. Forma a podmínky tvrdnutí závisí na typu elastomerní pryskyřice použité v adhezivu. Mezi tato adheziva patří přírodní pryž, silikon, neopren, polyuretan, styreno-butadienová pryž a další [1], [4].

#### 2.5.4 Hybridní adheziva

Tato lepidla vzniknou smícháním termosetných, termoplastických či elastomerických adheziv. Hybridní adheziva kombinují žádané vlastnosti jednotlivých složek. Obecně se vysokoteplotní, tvrdé pryskyřice kombinují s ohebnými a houževnatými elastomery či termoplasty. Pro vytvrzení je většinou nutné teplo a tlak. Jsou využívána na nejvíce namáhané spoje. Těmito lepidly se spojují kovy, keramika, sklo a plasty. Mezi tato adheziva se řadí epoxy-fenolická, epoxy-síranová, epoxy-nylonová, neopreno-fenolická a další [1], [4].

### 3 PŘÍPRAVA POVRCHU PŘED LEPENÍM

Vlastnosti povrchu jsou jedním z hlavních faktorů ovlivňujícím kvalitu lepeného spoje. Proces přípravy povrchu má za úkol zajistit vhodné vlastnosti pro přijetí adheziva povrchem a vznik spoje požadovaných vlastností. Správně zvolené povrchové předúpravy zaručují, že nejslabší článek spojované soustavy bude základní materiál či adhezivo, nikoliv rozhraní adheziva a adherendu [2].

Volba předběžných úprav závisí na následující technologii lepení, jelikož každá technologie má vlastní požadavky na stav povrchu a jeho čistotu. Při čištění se můžeme setkat s nečistotami přichycenými na povrchu po různých výrobních procesech. Tyto nečistoty mohou být cizího či vlastního charakteru. Nečistoty cizího charakteru jsou především mastné látky jako konzervační prostředky, brusné a leštící pasty atd., kovové nečistoty jako kovový prach či kovové třísky, nerozpustné anorganické nečistoty jako prach z ovzduší nebo brusiva, které jsou k povrchu vázány adhezními silami. Nečistoty vlastního charakteru jsou k povrchu vázány chemickou vazbou a jsou to především korozní produkty. Vlastní nečistoty jsou nejčastěji okuje, což jsou oxidy kovů, které vznikají na povrchu při tepelném zpracování, nebo rez. Rez je tvořena hydratovanými oxidy kovů a vzniká působením atmosférické vlhkosti či elektrochemickými ději [5].

### **3.1 Pasivní úpravy povrchu**

Pasivní předúpravy nemění aktivně chemické složení povrchu. Tyto procesy mají za úkol pouze očistit povrch od různých forem znečištění. Mezi tyto procesy se řadí odmašťování, moření a mechanické úpravy povrchu. V závislosti na úrovni adheze lze pasivní předúpravy povrchu užívat jako jedinou předúpravu povrchu či jako počáteční krok při složitějším procesu povrchové úpravy [1].

### **3.2 Pasivní chemické úpravy**

Tyto procesy předúprav mají za cíl vyčistit povrch od ulpělých nečistot za pomoci solventů či chemikálií. Mezi tyto nečistoty se řadí prach, olej, vlhkost, otisky prstů či mastnota. Čistící účinky těchto metod mohou být zlepšeny dodatečnou agitací například prudkým mícháním, za pomoci ultrazvuku, kartáčování či vysokotlakého čištění. Jelikož tyto metody vyžadují užití chemikálií, musí se věnovat zvýšená pozornost na životní prostředí a bezpečnost. Při volbě chemické předúpravy je nutné brát v potaz kompatibilita materiálu se zvolenou metodou, hořlavost a jedovatost čistícího média. Dále je nutné regulovat emise a způsob zpracování nebezpečného odpadu [1],[5],[6].

#### **3.2.1 Odmašťování**

Odmašťování je obvykle první operací v procesu předúpravy povrchu pro lepení a může být užito jako samostatná předúprava či v kombinaci s dalšími metodami. Odmašťování využívá organické prostředky (rozpouštědla), či vodné prostředky (roztoky). Cílem odmašťování je vyčistit povrch od prachu, mastnoty či oleje. Výběr odmašťovacího média a způsobu jeho nanášení hraje zásadní roli v míře odstranění nečistot [6].

#### **3.2.2 Odmašťování v organických rozpouštědlech**

Nezákladnější metoda odmašťování, při které probíhá rozpouštění ulpělých mastnot, lubrikantů a olejů pouze molekulárními pochody. Tento způsob odmašťování je často užíván jako základní operace, na kterou navazují další povrchové úpravy. Jedná se o velmi jednoduchý

proces s vysokou čistící mohutností, který velmi rychle rozpustí velké množství mastnoty, a je vhodný pro čištění velkých ploch [5], [6].

Na organická rozpouštědla jsou kladeny požadavky na schopnost rozpouštět ulpělé mastnoty, nehořlavost, nízká toxicita, regenerovatelnost a stálost za určitých podmínek. Organická rozpouštědla efektivně rozpouští mastnoty ve formě kapaliny i páry, čehož se využívá při návrhu odmašťovacích lázní, ve kterých je rozpouštědlo zahříváno a vytváří parní polštář nad hladinou lázně. Před ponořením jsou čištěné výrobky v této páře na krátkou chvíli drženy [5],[6].

Z enviromentálních a bezpečnostních důvodů se stále méně využívají jako rozpouštědla organochloridy (např. 1,1,1-trichlorethan, trichlorethylen). Větší využití mají aromatické uhlovodíky (areny) a alifatické uhlovodíky [6].

### *3.2.3 Odmašťování ve vodných alkalických roztocích*

Odmašťování vodnými alkalickými roztoky je založeno na emulgaci a dispergaci nečistot, při které dochází k rozpouštění i heteropolárních, ve vodě rozpustných nečistot. Princip této odmašťovací metody je založen převážně na počátečním porušení mastného povlaku, vytěsnění těchto nečistot do lázně a následné emulgaci či dispergaci uvolněných mastnot, které zabraňují zpětnému usazování znečištění na povrch výrobku. Schopnost lázně vytěsnit nečistoty zajišťují organické tenzidy, které výrazně snižují povrchové napětí roztoku a napětí na ploše styku dvou fází. Organické tenzidy mají ve většině případů také emulgační vlastnosti, protože se mohou shlukovat okolo rozptýlených částic nečistot a tím zabraňují jejich opětovnému shlukování [5].

Tato metoda odmašťování je často prováděna ponorem dílů do ocelových nádob s roztokem, který je míchán a zahříván. Teplota takových lázní se pohybuje v rozmezí od 70 °C do 90 °C a čas ponoru je několik minut. Užívají se fosfáty, silikáty, boráty či hydroxidy sodíku a draslíku [6].

### 3.2.4 Elektrolytické odmašťování

Jedna z nejefektivnějších metod odmašťování kovových substrátů. Při užívání této technologie je nutné přísné dodržení chemického složení odmašťovacího média a jeho pracovních parametrů. Při tomto procesu dochází k umocnění odmašťovacích procesů anodickým či katodickým cyklem, při kterém se uvolňuje vodík či kyslík na povrchu odmašťovaného předmětu při průchodu proudem. Oproti chemickému odmašťování, kromě koncentrace, složení, teploty lázně a doby ponoru, přibývají faktory ovlivňující průběh, a to polarita a proudová hustota [5], [6].

Při zvýšení proudové hustoty dochází k lepším odmašťovacím účinkům díky vyššímu množství vyloučených plynů. Z hlediska účinnosti je výhodnější katodické odmašťování, jelikož množství vodíku, který se vyloučí na katodě je až dvakrát větší než množství kyslíku, který se vyloučí na anodě při anodickém odmašťování. V některých případech ale nelze dosáhnout po katodickém cyklu požadovaných vlastností kvůli adsorpci koloidů či vyloučení kovů z vodní lázně na povrch. Z těchto důvodů jsou ve většině případů odmašťovací cykly zakončeny anodickým cyklem [5].

### 3.2.5 Odmašťování ultrazvukem

Tato metoda odmašťování je založena na šíření ultrazvukových vln médiem. Je vhodné pro čištění malých dílů se složitými tvary. Agitace média ultrazvukem může zvednout efektivitu čištění z 10 % u klidného média na 85 %. Odmašťování s využitím ultrazvuku využívá především mechanismů kavitačního a akustického proudění. Kavitační proudění je založeno na explozích kavitačních bublin, které vyvolají rázovou vlnu, která se šíří všemi směry. Akustický mechanismus je charakterizován tlakovým gradientem se směrem kolmým ke zdroji. Následkem dvou zmíněných mechanismů je vznik milionů bublin v kapalině. Následná imploze bublin a akustické vlnění vede k účinnému odstranění nečistot z povrchu [6], [7].

Organická rozpouštědla mají dobrou schopnost rozpouštět různé nečistoty, jejich nevýhodou jsou vysoké náklady na odmašťovací vany, proto naleznou v praxi menší využití než vodné roztoky. Hlavní výhodou vodných roztoků je intenzivnější kavitace v porovnání s jinými médii [6].

Vyrábí se ultrazvukové odmašťovací vany různých rozměrů v závislosti na zamýšleném užití. Jejich objem se pohybuje od 0,3 dm<sup>3</sup> až do několika krychlových metrů. Na dně nebo ve stěnách vany jsou připevněny budiče ultrazvuku [6].

### 3.2.6 Emulzní odmašťování

Emulzní odmašťování může být provedeno ponorem výrobku do rozpouštědla s přidanou směsí emulgátorů nebo nástřikem znečištěného povrchu směsí emulgátorů a organického rozpouštědla ve vodě. Proces ponoru do rozpouštědla se směsí emulgátorů vyžaduje oplach odmaštěného povrchu studenou či horkou vodou. Rozpouštědlo s emulgátory odstraní znečištění mastnotami a voda odstraní produkty tepelného a mechanického zpracování. Metoda nástřiku má slabší odmašťovací schopnost, ale je postačující pro odstranění oleje z kovových povrchů, stop chladicí emulze, prachu a dalších slabě vázaných mechanických částic [6].

Pro tuto technologii se užívá organického rozpouštědla (např. aceton, etanol, toluen, trichlorethylen a další) či alkalického roztoku (např. hydroxid sodný), vody a malého množství emulgátorů. Emulzní odmašťování probíhá za normální i zvýšené teploty, v závislosti na zvoleném odmašťovacím médiu [5], [6].

### 3.2.7 Odmašťování parou

Tato metoda je založena na stříkání proudu mokré páry či horké vody pod vysokým tlakem na znečištěný povrch. Pro zvýšení odmašťovací schopnosti se do vody přidávají alkalické roztoky. Vliv vysokých teplot až 140 °C, společně s mechanickým vlivem tlakové vody a páry, a přidavkem alkalického roztoku dává této technologii velkou čistící mohutnost. Po provedení odmaštění se výrobek dále čistí čistou vodní parou. Tato technologie nalezne využití především při hrubém čištění velkých znečištěných ploch [5], [9].

### 3.2.8 Oplach

Mezi jednotlivými operacemi a na závěr celé technologie předúpravy povrchu je nutné zařadit oplachy. Při vyjímání a přesunu výrobků z lázní mohou na jeho povrchu ulpět nečistoty z hladiny lázně a ztráty z lázně způsobené zachycením média do dutin výrobku. Takto vzniklé nečistoty je nutné oplachem odstranit pro zachování stálosti kvality procesu čištění [7].

Způsoby oplachu:

- Oplach postřikem je nejméně hospodárný, má velkou spotřebu vody a malou čistotu. Užívá se převážně pro velké součásti.
- Oplach ve vaně s občasnou výměnou vody. Je nedokonalý, voda se postupně zanáší nečistotami a dochází k jejímu rychlému znehodnocení.
- Oplach ve vaně s jednoduchou výměnou vody je nejčastěji používaný.
- Dvoustupňový oplach s protiproudou výměnou vody je nejhospodárnější a umožňuje největší úsporu vody [9].

### ***3.3 Pasivní mechanické úpravy***

Technologie úprav povrchu, kterými výrobku nedodáváme přesný tvar a rozměry dané výkresem, ale tvoříme požadovanou jakost. Hlavními důvody pro provedení mechanických předúprav jsou čištění povrchu a úprava jeho geometrie. Vhodná úprava geometrie povrchu zaručuje dostatečnou drsnost a zvyšuje obsah styčné plochy adherendu a adheziva. Mechanické čištění je užíváno k odstranění oxidů, které nelze z povrchu odstranit odmaštěním, zbavení povrchu menších nečistot či korozních vrstev. Před provedením mechanických předúprav by mělo proběhnout odmaštění, aby se zamezilo vnesení nečistot do povrchu při samotném procesu předúpravy [1], [5], [6].

#### ***3.3.1 Broušení***

Broušení je proces postupného odebírání materiálu z povrchu. Smyslem broušení v operacích předúpravy povrch je převážně odstranění hrubých nerovností (např. švy odlitků, výkovek). Povrch adherendu se postupně na několik operací obrušuje na nižší drsnost, kdy poslední operace musí tvořit povrch požadovaných vlastností následující technologie. První brousící operace je hrubé broušení, provádí se za sucha, dochází při ní k největšímu úběru materiálu a využívá brusivo se zrnitostí 24 až 100. Dle stupně nerovnosti povrchu a požadovaných vlastností se při procesu broušení užívají další operace. Jemné broušení se provádí brusivem zrnitosti 120 až 240. Kotouče jsou při jemném broušení mazány kvůli snížení tření a možnosti dosažení lepší kvality povrchu. Výrobky určené pro leštění látkovými kotouči se předlešťují brusivem zrnitosti 280 až 500 [5], [9].

Pro broušení se používají především brusné kotouče, které jsou složené ze zrn dané zrnitosti držených pohromadě spojovacím materiálem. Jednotlivá zrna fungují jako jednobřité nástroje, které odřezávají povrchovou vrstvu adherendu díky brusnému kotouči rotujícímu velkou rychlostí až 60 m/s. Vlivem užívání se postupně obrušují zrna, která se odlomí, a tím odhalí zrno uložené pod ním. Další technologií broušení využívanou pro předpřípravu povrchu je pásové broušení. Tato technologie umožňuje rychlejší broušení než kotoučové broušení, ale postrádá na přesnosti. Díky malým rozměrům třísky je broušení velice přesné a umožňuje dosažení velmi nízké drsnosti povrchu. [6], [8].

### *3.3.2 Kartáčování*

Operace kartáčování se provádí za účelem odstranění hrubých nečistot z povrchu či ke zjemnění a sjednocení povrchu a odstranění vrstvy oxidů vzniklé po broušení. Pro odstranění hrubých nečistot se užívají drátěné kartáče z ocelových či mosazných drátů. Odstranění všech nečistot kartáčováním není možné kvůli zbytkům korozních nečistot v pórech. Při kartáčování za účelem sjednocení povrchu se užívají měkké a pružné kartáče z organických či umělých vláken. Díky pružnosti těchto vláken je možné snížit drsnost i u tvarově složitých a členitých výrobků [5], [9].

### *3.3.3 Tryskání*

Tryskání je využíváno k čištění povrchu od korozních produktů a nečistot a k dodání potřebné drsnosti. Otryskávání je nejefektivnější způsob mechanických předúprav pro odstranění okují a korozních produktů. Při otryskávání na povrch dopadají urychlená zrna abraziva, která dle úhlu dopadu působí na povrch a vytrhávají drobné částice kovu. Kinetická energie k pohybu zrn je dodávána stačeným vzduchem, tlakovou vodou, metacím kolem či kombinací tlaku a vody. Proces je řízen několika parametry, mezi které patří úhel dopadu abraziva, ostrost hran abraziva či tvrdost abraziva [5], [6], [7].

Výběr abraziva ovlivňuje výsledné vlastnosti tryskaného povrchu i plošný výkon tryskání. Zvolené tryskací médium by mělo mít dostatečný čistící účinek, dlouhodobou trvanlivost při provozu, minimální vliv na opotřebení tryskacího zařízení a nízkou prašnost s ohledem

na cenu. Tryskací prostředek se volí dle tryskaného materiálu, tloušťky stěn součásti, výchozího stavu povrchu a požadovaných vlastností výsledného povrchu [5].

### 3.3.4 Tryskací prostředky

Existuje široká škála tryskacích prostředků, které se odlišují škálou vlastností ovlivňujících výsledky tryskacího procesu. Abraziva lze dělit dle tvaru zrna na ostrohranné (drtě) a oblé (granuláty). Při využití oblých zrn lze dosáhnout jemné struktury povrchu, zatímco ostrohranná zrna naleznou uplatnění při odstraňování povrchových vrstev. Další dělení je dle původu a základního materiálu abraziva. Největší využití při tryskání mají kovová abraziva, umělý korund a balotina [10].

#### Ocelový granulát

Toto kovové abrazivo se užívá nejčastěji při tryskání svařenců a odlitků systémy s metacími koly. Užívají se kuličky vyrobené ze zušlechtěné nadeutektoidní oceli se sorbitickou strukturou. Tato struktura zajišťuje vhodnou pružnost při odrazu a odolnost proti únavě, rázům i otěru [10].

#### Ocelová drť

Ostrohranné kovové abrazivo, jehož výroba spočívá v drcení tepelně zpracovaného nadeutektoidního ocelového granulátu o zrnech většího průměru. Ocelová drť nalezne největší využití při čištění a úpravě kvality povrchu pneumaticallym tryskáním. V tryskačích s metacími koly nalezne využití jen výjimečně z důvodu nadměrné míry opotřebení metacích kol [10].

#### Sekaný drát

Vlastnosti tohoto kovového abraziva jsou přechodem mezi Ocelovým granulátem a drtí. Největší využití má v systémech s metacími koly. Přestože je sekaný drát ostrohranný tryskací prostředek, dojde po několika průchodech k zaoblení jeho hran díky dobré



houževnatosti. Díky oblejším hranám nedochází k opotřebení metacího kola. Užití sekaného drátu několikanásobně zvyšuje životnost abraziva i lopatek metacího kola [10].

#### Tryskací prostředky z neželezných kovů

Využívají se abraziva vyrobená především z hliníku, zinku, mědi, bronzu a mosazi ve formě granulátu, drti i sekaného drátu. Jejich účelem je otryskávání materiálu stejného druhu [10].

#### Umělý korund

Korund je nekovové syntetické abrazivo, které nalezne největší užití při čištění kovových výrobků, odstraňování otřepů a korozních produktů či zdrsňování povrchu. Umělý korund se vyrábí v bílé a hnědé formě. Hnědý korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) je nejtvrdší nekovový tryskací prostředek. Oproti bílému podléhá pomaleji opotřebení, tudíž je výhodnější. Bílý korund je naopak vhodnější pro aplikace s vysokými požadavky na čistotu (např. letecký průmysl). Díky své bílé barvě je ihned viditelné jakékoliv znečištění tryskacího prostředku, které indikuje nutnost obnovy abraziva. Použití obou forem korundu přináší podobné výsledky [11].

#### Balotina

Nekovové syntetické abrazivo ze sodného skla ve formě mikrokuliček. Využívá se především k otryskávání korozivzdorných ocelí či hliníkových slitin, jemné zdrsňování povrchu či zpevňování povrchu neboli shot peening. Tryskání balotinou bývá většinou posledním krokem předúpravy. Balotina je chemicky stabilní, netoxická, nehořlavá a ekonomicky nezávadná [11].

#### Suchý led

Nekovové abrazivo, které z povrchu dokáže velmi efektivně odstranit mastnotu, rez, olej či zbytky emulzí. Oxid uhličitý ve formě suchého ledu má nízkou teplotu kolem  $-79\text{ }^\circ\text{C}$ , díky které dojde při dopadu pelety suchého ledu na povrch k termickému šoku. Dochází

ke smrštění materiálu a následnému porušení povrchové vrstvy. Oxid uhličitý se dostává mezi povrchovou vrstvou a vlastní materiál, kde sublimací zvýší svůj objem a odtrhává povrchovou vrstvu. Tryskání suchým ledem umožňuje rychlé a efektivní čištění i složitých součástek, nevyužívá žádné toxické látky a díky sublimaci oxidu uhličitého nevzniká ze samotného procesu tryskání odpad [12].

### 3.3.5 *Pneumatické tryskání*

Tato technologie je založena na přívodu abraziva do stlačeného vzduchu proudícího vysokou rychlostí z trysky. Dle způsobu urychlení vzduchu se dělí na tlakové a sací. Pneumatických tryskacích systémů se často využívá v uzavřených tryskacích komorách či k ručnímu tryskání [5], [9].

#### Tlakové pneumatické tryskání

Abrazivo je uloženo v tlakové nádobě, v jejíž spodní části propadá abrazivo do regulační komory, ve které je částečně urychleno proudícím vzduchem. Směs vzduchu a abraziva je dále vedena hadicí do trysky malého průměru, ve které dochází k expanzi vzduchu. Expanzí je směs vzduchu a tryskacího prostředku urychlována směrem na tryskaný povrch. Tato metoda tryskání je přerušovaná, jelikož po spotřebování abraziva z nádoby musí dojít k zastavení prací a doplnění abraziva [5].

#### Sací pneumatické tryskání

Tato metoda pneumatického otryskávání tryskami nasává abrazivo z beztlakové nádoby do pracovního prostoru pistole. Prouděním stlačeného vzduchu z primární trysky vzniká v meziprostoru podtlak, který přívodní hadicí nasává abrazivo do meziprostoru, kde se mísí se vzduchem. Vzniklá směs je poté v pracovní trysce urychlena a vrhána na povrch. Tato metoda tryskání umožňuje nepřetržitý průběh prací, ale oproti tlakovému tryskání využívá hůře energii stlačeného vzduchu [5].

### **3.3.6 Tryskání metacími jednotkami**

Abrazivo je urychlováno mechanicky, a to rotací lopatek. Středem metací jednotky se obvykle přivádí abrazivo, které se působením odstředivé síly při rotaci jednotky posouvá k okraji lopatek. Metací jednotka je ve většině případů složena lopatek, které jsou radiálně uloženy mezi disky. Při otáčení mají metací kola vysokou obvodovou rychlost, která v geometrickém součtu s úhlovou rychlostí unáší abrazivo rychlostí až 80 metrů za sekundu. Tryskání metacími jednotkami dosahuje vysoké účinnosti s možným vysokým stupněm mechanizace a automatizace. Tyto typy tryskacích systémů jsou často konstruovány jako průběžné a umožňují zařazení do linek s povrchovou úpravou [5], [9].

### **3.3.7 Mokrý otryskávání**

Tato metoda tryskání užívá vody, která se mísí s abrazivem a stlačeným vzduchem. Mokrým otryskáváním lze dosáhnout nižší drsnosti povrchu než pneumatickým tryskáním. Díky přivedení vody do proudu stlačeného vzduchu lze použít abraziva jemnější zrnitosti. Mokrý otryskávání snižuje prašnost a spotřebu abraziva [6].

## **3.4 Aktivní úpravy povrchu**

Chemické či fyzikální procesy, které nejen čistí povrch, ale mění jeho vlastní chemické složení. Aktivní povrchové úpravy zlepšují smáčitelnost povrchu, upravují povrchovou vrstvu za účelem snazšího zapojení do lepeného spoje či ochraňují povrch před působením okolních vlivů při provozu spojované součásti. Aktivní povrchové úpravy bývají převážně posledním krokem v procesu přípravy povrchu pro lepení a používají se pouze v případech náročných aplikací, které vyžadují vysokou pevnost a trvanlivost lepeného spoje. Před zahájením i po zakončení procesu aktivních úprav je vždy nutné provést nějakou z pasivních úprav [1].

## **3.5 Aktivní chemické úpravy povrchu**

Tento typ úprav povrchu se provádí za účelem odstranění povrchových nečistot a vytvoření určitých podmínek povrchové vrstvy nebo účelem vytvoření tenké vrstvy s vhodnými podmínkami pro kvalitní lepený spoj na povrchu [6].

### **3.5.1 Primery**

Některá lepidla v kombinaci s různými substráty dosahují pouze určité úrovně adheze. Zvýšení adheze a pevnosti spoje je možné v těchto případech dosáhnout pomocí využití primerů. Další motivace pro užití může být ochrana povrchu po provedené úpravě či inhibice koroze lepeného materiálu. Primery po nanesení vytvoří novou vrstvu na povrchu substrátu, která vytváří dobrý spoj se substrátem i s lepidlem. Vrstva primeru je se substrátem spojena velmi silnou adsorpcí s prvky chemické vazby. Primery jsou převážně kapaliny, které jsou aplikovány na lepený povrch před nanesením lepidla. Mohou penetrovat pórovitý či hrubý povrch [1].

Primery jsou na povrch aplikovány krátce po přípravě povrchu a jejich výsledkem je suchý či částečně lepkavý film. Ve většině případů je nutné nechat primer po nanesení schnout při pokojové teplotě, někdy i po dobu 30–60 minut za zvýšených teplot. Primery využívané k ochraně připravených povrchů před lepením jsou obecně určeny pro použití s konkrétním lepidlem. Využití primerů je možné pro kovové i nekovové materiály a v některých případech může nahrazovat předúpravy povrchu [1].

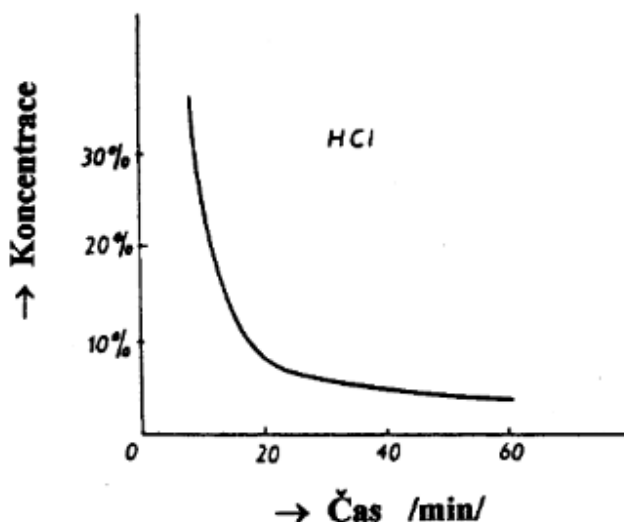
## **3.6 Aktivní chemické úpravy povrchu kovů**

### **3.6.1 Moření**

Proces odstraňování silných vrstev korozních produktů z povrchu kovu v kyselinách. Tyto produkty jsou převážně oxidy kovů, které vznikají při tepelném zpracování a v důsledku atmosférické koroze. Před mořením je nutné zbavit povrch mastnot odmaštěním. Rozpouštění korozních produktů probíhá převážně v minerálních kyselinách, jejichž konkrétní výběr bude záležet na užitém materiálu a korozních produktech na jeho povrchu. Na rychlost a intenzitu procesu moření má vliv především koncentrace a teplota lázně. Moření se provádí metodou máčení v lázni či postřikem znečištěných součástí. Pro moření ocelových substrátů se užívá lázni založených na kyselině sírové či chlorovodíkové [1], [6], [9].

### 3.6.2 Moření oceli v kyselině chlorovodíkové

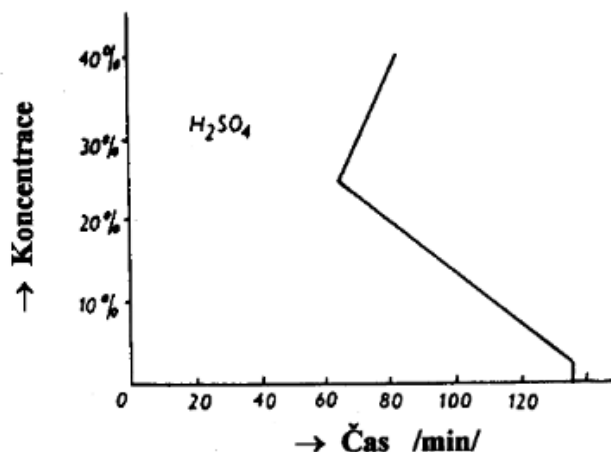
Lázeň pro moření v kyselině chlorovodíkové se získá mísením koncentrované kyseliny s vodou. Koncentrace kyseliny chlorovodíkové v lázni se pohybuje od 10 do 20 %. Tato směs je dále obohaceny inhibitory, které zabraňují narušení povrchu již zbaveného korozních produktů. Tento způsob moření se provádí máčením v otevřené vaně při teplotách 20 až 30° C. Po vytažení výrobků z lázně je nutné věnovat zvýšenou pozornost oplachu a sušení kvůli vysoké agresivitě kyseliny chlorovodíkové [6].



Obrázek 1 Vliv koncentrace kyseliny chlorovodíkové na rychlost moření [9]

### 3.6.3 Moření oceli v kyselině sírové

Moření v kyselině sírové dosahuje nižší účinnosti než při užití kyseliny chlorovodíkové. Zvýšením teploty lázně lze tento proces urychlit, proto se moří v lázni o teplotě 60 až 70 °C. Rozpuštěné korozní produkty se z povrchu odstraňují pracněji než při užití kyseliny chlorovodíkové. I přes značné nevýhody proti kyselině chlorovodíkové se pro moření i nadále také užívá kyselina sírová a to převážně z ekonomických důvodů [6].



Obrázek 2 Vliv koncentrace kyseliny sírové na rychlost moření [9]

### 3.6.4 Aktivace

Dekapováním neboli aktivací, se zbavuje povrch tenkých vrstev oxidů, které vznikly či zůstaly po předchozích operacích. Tato technologie navíc chemicky aktivuje povrch, který se pak snáze zapojuje do lepeného spoje. Dekapování je zpravidla kratší, než moření a je k němu užíváno roztoků kyselin [1], [5].

Aktivace hliníku a jeho slitin probíhá máččením v roztocích hydroxidu sodného o koncentraci 5 až 10 % za zvýšených teplot od 50 do 60 °C po dobu 2 až 3 minut. Roztoky kyseliny sírové a dusičné se užívají pro dekapování mědi a jejich slitin. Ocel se aktivuje v roztocích kyseliny sírové [6].

### 3.6.5 Konverzní vrstvy

Velké množství kovových materiálů začíná po zbavení povrchu korozních produktů, mastnoty či olejů rychle korodovat. Korozí může ještě před lepením vzniknout na povrchu slabá vrstva, která snižuje kvalitu výsledného spoje. Může také nastat situace, při které začne daný povrch korodovat až po provedení spoje, a tak ho zbavit stálosti. Mechanické opracování či chemické čištění povrchu dokáže připravit podmínky pro dostatečně pevné a trvanlivé spoje na využití v suchém prostředí. Pro aplikace v prostředí s vlhkostí lze trvanlivost a pevnost spoje značně zvýšit konverzním povlakem. Konverzní vrstvy bývají posledním krokem před samotným lepením [1].

### 3.6.6 Chromátování

Touto technologií se na povrchu oceli i neželezných kovů tvoří vrstva, která zvyšuje odolnost proti korozi, poskytuje ochranu povrchu a zlepšuje jeho adhezi. Tato vrstva je složena ze směsi sloučenin chromu a základního kovu. Chromátování se provádí převážně v kyselých chromátovacích lázních. Primární složkou těchto lázní je pak kyselina chromová s přídavkem komplexotvorných látek. Chromátovací lázně jsou regenerovatelné, stabilní a odolné v provozu. Chromátování oceli probíhá ve vroucí lázni s obsahem oxidu chromového. Tento způsob úpravy hliníku a jeho slitin probíhá v kyselých lázních za normální teploty [1], [9].

### 3.6.7 Fosfátování

Touto technologií lze na čistém povrchu kovu vytvořit nerozpustnou vrstvu fosforečnanů. Tyto vrstvy zlepšují adhezní vlastnosti povrchu díky své krystalické struktuře a tvoří podmínky pro pevný lepený spoj. Nejčastěji užívané fosfátové povlaky jsou tvořeny fosforečnanem zinečnatým a železnatým. Po ponoření kovu do fosfatizační lázně dochází na styčné ploše k úbytku volné kyseliny v lázni a narušení rovnováhy roztoku. Díky tomu se kyselý fosforečnan v lázni rozkládá a na povrchu kovu vzniká nerozpustný fosforečnan [1], [5].

Na povrchu kovu vznikají dle složení fosfatizační lázně vrstvy různé tloušťky, struktury povrchu a chemického složení. Odhadnutí správné tloušťky fosfátové vrstvy se provádí experimentálním měřením vzorků hotového výrobku. Správný odhad tloušťky povlaku je důležitý pro kvalitu lepeného spoje [1], [5]

### 3.6.8 Anodická oxidace

Eloxování neboli anodická oxidace má největší využití pro hliník a jeho slitiny. Na povrchu hliníku a jeho slitin lze touto technologií vytvořit vrstvu oxidu hlinitého. Vrstva oxidu hlinitého je odolná vůči korozi, otěruvzdorná a tvrdá. Tato vrstva vzniká pomocí průchodu stejnosměrného proudu vhodně zvolenou lázní s katodou a anodou. Nejčastěji užívané lázně jsou na bázi kyseliny chromové a sírové. Anodou se stává povlakovaný materiál, katoda je nejčastěji elektroda z olova, hliníku, titanu či korozivzdorné oceli [13].

Povrch hliníku je po anodické oxidaci složen z tenké spojitě vrstvy na rozhraní oxidu s kovem a širší pórovitě povrchové vrstvy. Celková tloušťka vrstvy  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se pohybuje od 5

do 100  $\mu\text{m}$ . Pórovitost a tloušťka vrstvy lze ovlivnit proudovou hustotou, napětím či teplotou a koncentrací lázně. Jako u fosfátování je potřeba věnovat dostatečnou péči pro zjištění optimální tloušťky eloxované vrstvy, nejlépe testováním lepených spojů ze vzorků výrobku [1], [13].

### **3.7 Aktivní chemické úpravy povrchu polymerů**

Chemické úpravy povrchu polymerů jsou náročnější než úpravy povrchu kovů a je nutná zvýšená obezřetnost při jejich výběru. Polymery obsahují různá aditiva, která se mohou přesunout na povrch a narušit proces chemické úpravy povrchu. Tento přesun může být způsoben odlišným zpracováním. Příkladem mohou být rozdílné vlastnosti povrchu výrobků z totožného polymeru, které byly formovány stykem s horkým kovovým povrchem a výrobků formovaných bez styku s horkým kovem [1].

Tyto technologie jsou časově náročné a produkují velké množství toxického odpadu. Tyto hlavní nevýhody jsou důvodem k užívání těchto metod převážně pro malé objemy výroby velmi drahých součástí [1].

#### **3.7.1 Leptání povrchu polymerů**

Kapalná leptadla mohou být užívána pro změnu chemického složení či odstranění nečistot z povrchu polymeru. Leptání povrchu polymerů může znatelně zvýšit pevnost lepeného spoje.

Leptání probíhá v roztocích míchaných ze surových přísad či na trhu dostupných hotových směsích za pokojové či zvýšené teploty 122 až 140 °C. Procesy leptání musí být přísně dodržovány, jelikož při příliš dlouhém času leptání či nedůkladném oplachu dochází k nežádoucímu naleptávání povrchu [1].

#### **3.7.2 Fluorace**

Tímto způsobem úpravy je na povrchu polymeru tvořen nový povlak. Tento povlak má vyšší povrchové napětí a schopnost tvořit lepší adhezní spoj. Touto metodou lze zlepšit



vlastnosti povrchu téměř všech plastů. Největší nárůst pevnosti lepeného spoje vykazuje fluorovaný polypropylen a polyetylen při spojování epoxidovou pryskyřicí [1].

### **3.8 Aktivní fyzikální úpravy povrchu polymerů**

Jelikož nevýhody aktivních chemických úprav polymerů tvoří znatelnou překážku, jsou ve větší míře užívány úpravy založené na fyzikálních jevech. Tyto technologie využívají schopnosti polymerů reagovat změnou vlastností na působení vlivy jako je plamen, laser, elektrický výboj či UV záření [1].

#### **3.8.1 Koronování**

Úprava povrchu polymeru koronovým výbojem se provádí za účelem zlepšení adhezních vlastností povrchu. Koronový výboj je proud elektronů a iontů urychlených elektrickým polem. Tento výboj je generován vysokofrekvenčním proudem. Koronová úprava povrchu polymerů je běžně užívána při zpracování substrátu jako jsou folie z polyethylenu, polypropylenu a dalších [1], [4].

Vybavení pro technologii koronování má nízké pořizovací náklady, neprodukuje odpad a dá se snadno zařadit do linkové výroby. Zpracování čerstvě vyrobené folie snižuje celkovou náročnost výrobního procesu. Z tohoto důvodu se zařízení na koronování zapojuje do výrobních linek [1].

#### **3.8.2 Plazmová předúprava povrchu**

Běžná metoda úpravy různých polymerů pro technické využití pro aplikace s maximálními požadavky na pevnost spoje. Touto technologií lze vytvořit spoje dvakrát až čtyřikrát pevnější oproti povrchu bez úpravy. Tato metoda předúpravy probíhá ve skleněné či keramické vakuové komoře za částečného vakua. Kvůli nutnosti částečného vakua je tato metoda vhodná pro hromadnou výrobu. Plazmou lze upravovat povrchy materiálů jako polytetrafluorethylen (PTFE), Polyethylentereftalát (PET), silikonové pryže a další [1].

Mezi plyny používané při plazmových předúpravách patří dusík, argon, kyslík či helium, užívají se buď čisté nebo ve formě směsí. Plazmou se ve velmi krátkém čase vyvolají změny

zasahující pouze do hloubky několika molekul od povrchu. Touto metodou lze vytvořit smáčivý povrch i na materiálech, které jsou za běžných podmínek nesmáčivé [1].

### ***3.8.3 Předúprava povrchu plamenem***

Povrch polymeru je na krátký časový úsek vystaven přímému působení plamenu plynového hořáku poháněného kyslíkem. Na povrchu dojde k porušení molekulárních vazeb, na které se napojují aktivní ionty z plamene. Tímto procesem se zvyšuje povrchová energie substrátu, dojde ke zlepšení adheze [1], [14].

Plynový hořák je napojen na tlakovou láhev či na přímý přívod plynu. Užívá se propanbutan či metan. Důležitou roli hraje poměr vzduchu a plynu ve směsi. Další faktory ovlivňující výsledné vlastnosti je čas, po který je povrch vystaven plamenu, a vzdálenost hořáku od povrchu. Jako u koronování lze tuto technologii automatizovat [1].

## **4 ZJIŠŤOVÁNÍ ČISTOTY POVRCHŮ**

I nejdůkladnější technologie čištění a úprav mohou zanechat povrch kontaminovaný cizími částicemi. Pro technologie lepení je čistota povrchu velmi důležitá a je třeba ji kontrolovat. Pokud nebude lepený substrát dostatečně čistý, nedojde k dostatečné adhezi na jejich rozhraní [15].

### ***4.1 Hodnocení čistoty povrchů pomocí adhezní pásky***

Zkoušení čistoty pomocí pásky je vhodné pro určování výskytu částic kontaminujících hladké povrchy. Tato metoda umožňuje detekci částic o minimální velikosti 5  $\mu\text{m}$ , v některých případech i zbytky mastnot. Zkoušení probíhá tak, že páska citlivá na tlak je přiložena na měřený povrch a pevně k němu přitlačena. Páska je poté odtržena a přichycené částice znečištění jsou srovnávány s normovanými fotografiemi pásek. Po srovnání jsou vyhodnoceny podle kategorií v tabulce 1 [15].

Tabulka 1 Kategorie hodnocení znečištění [15]

Kategorie	Popis částic znečištění
0	Částice neviditelné pod 10x zvětšením
1	Částice viditelné pod 10x zvětšením (částice v průměru do 50 $\mu\text{m}$ )
2	Pohledem těžko viditelné pouhým okem (částice v průměru 50 až 100 $\mu\text{m}$ )
3	Pohledem čistě viditelné částice (částice v průměru do 0,5 mm)
4	Částice v průměru 0,5 až 2,5 mm
5	Částice v průměru větší než 2,5 mm

## 4.2 Hodnocení čistoty povrchů pomocí kontaktního úhlu

Měření kontaktního úhlu lze využít k určení výskytu mastného filmu a podobných nečistot. Tato metoda je založena na rozdílu povrchové energie substrátu a cizích částic na povrchu. Při zkoušce je na zkoumanou část povrchu umístěna kapka vody a z bočního pohledu je určen tvar kapky. V praxi se využívá precizní optiky a zobrazovacích systémů ve spojení se softwarem, které umožňují snadnou, přesnou a rychlou analýzu [15].

## 4.3 Hodnocení čistoty povrchů stíráním

Tato metoda je nejčastěji využívanou metodou pro detekci znečištění chemického i částicemi. Ubrousky pro provedení stěru se vyrábí z materiálů jako je polyester, bavlna, papír či polyvinylacetát. Pro výběr materiálu ubrousku je důležitá míra znečištění povrchu, kompatibilita s povrchem, cena či trvanlivost. Stírání může být prováděno za sucha nebo s vodou, alkoholem a jinými rozpouštědly. Pro detailnější informace o charakteru znečištění se ubrousky se zachycenými nečistotami laboratorně analyzují pomocí absorpční spektrometrie či chromatografie [15].

## 4.4 Opticky stimulovaná elektronová emise (OSEE)

Vhodná metoda pro hodnocení znečištění povrchu mastným filmem. Při provádění této formy detekce je povrch ozařován ultrafialovým světlem a z povrchu jsou emitovány elektrony. Tyto elektrony jsou snímány senzorem a měřeny jako elektrický proud. Znečištění

povrchu snižuje emisi elektronů a s ní i měřený elektrický proud. Elektrický proud je převáděn na napětí, které lze spojit s tloušťkou vrstvy znečištění. Zařízení pro měření čistoty lze připojit k počítači a barevně vyznačit míru znečištění, což umožňuje srovnání více způsobů čištění. Opticky stimulovaná elektronová emise je rychlá, snadná a poměrně levná metoda pro určování čistoty povrchu, která se prokázala jako spolehlivá v mnoha odvětvích [15].

## 5 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Na celkovou pevnost lepeného spoje má největší vliv adheze lepidla k danému substrátu. Pro dostatečnou adhezi je důležité, aby lepidlo bylo v plném kontaktu s povrchem materiálu, tedy aby byl substrát dostatečně smáčivý. Kvůli zabezpečení dostatečné kvality spoje prochází lepené povrchy čištěním a předúpravou.

V experimentální části byly porovnávány vzorky, na které byly použity různé technologie předúpravy a čištění z hlediska smáčivosti a adheze lepidla k substrátu.

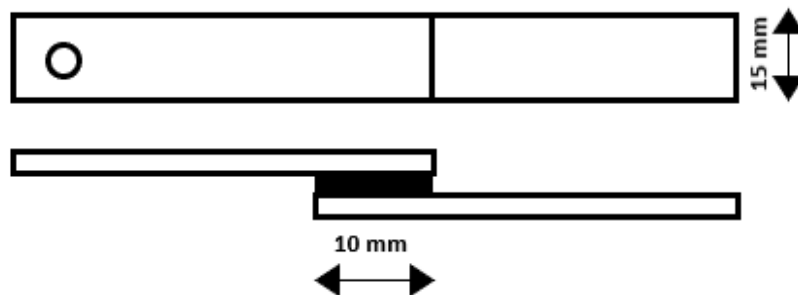
### 5.1 Příprava vzorků

Pro potřeby kapkové a housenkové adhezní zkoušky bylo využito deset vzorků (Q-PANEL S-36) z uhlíkové oceli ISO 3574 CR1. Rozměry dodávaných vzorků jsou 76x152x0,81 mm, povrch jedné strany vzorku je od výrobce kartáčován, druhá strana je bez úpravy. Vzorky byly dále čištěny a upravovány [16].

Pro potřeby odlupové zkoušky byly dva vzorky (Q-PANEL S-36) nastříhány na rozměry 76x15x0,81 mm pomocí tabulových nůžek. Ze vzniklých dvaceti vzorků bylo deset dále děrováno na průměr 6 mm. Tyto vzorky byly pak dle schématu (Obrázek 4) slepeny, a tak vznikl přeplátovaný spoj o rozměrech 10x15 mm [16].



Obrázek 3 Vzorek pro odlupovou zkoušku



Obrázek 4 Schéma vzorku pro odlupovou zkoušku

Za účelem porovnání vlivu čištění a předúpravy povrchu na jeho smáčivost a adhezi bylo připraveno pět vzorků s různou přípravou povrchu, která je popsána dále:

1. Vzorek bez úprav
2. Kartáčovaný vzorek
3. Odmaštěný vzorek
4. Broušený a odmaštěný vzorek
5. Broušený, odmaštěný a mořený vzorek

#### 5.1.1 Vzorek bez úpravy

Vzorek byl ponechán ve stavu od výrobce, zkoušky proběhly na straně bez povrchové úpravy.

#### 5.1.2 Kartáčovaný vzorek

Vzorek byl ponechán ve stavu od výrobce, zkoušky proběhly na straně upravené technologií kartáčování od výrobce.

#### 5.1.3 Odmaštěný vzorek

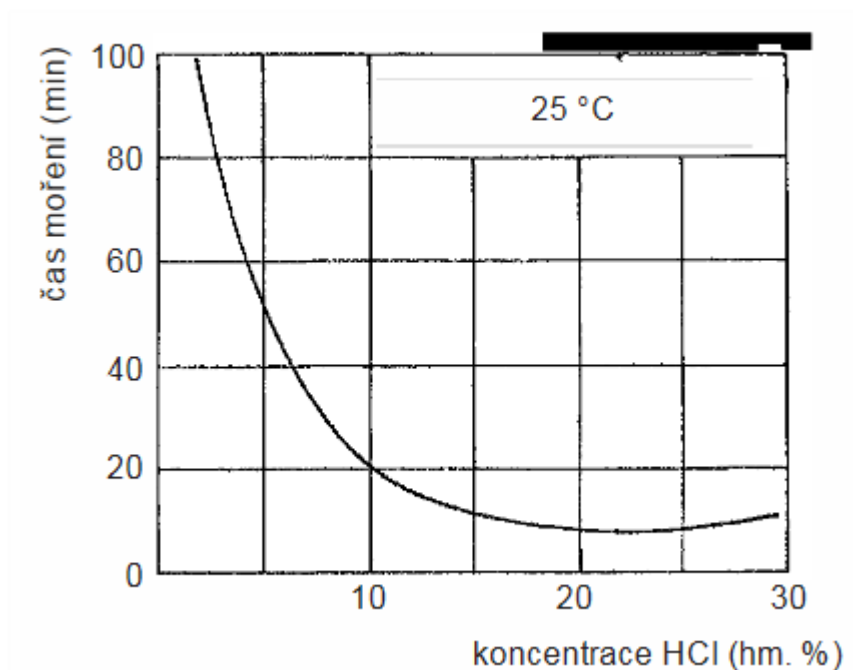
Jedna strana zůstala bez úpravy od výrobce a pouze byla odmaštěna technickým lihem pomocí bavlněné textilie.

#### 5.1.4 Broušený a odmaštěný vzorek

Povrch (bez úpravy od výrobce) byl ručně broušen brusným kotoučem se zrní z poloušlechtilého korundu o zrnitosti 320 zrn/cm<sup>2</sup> dále odmaštěn technickým lihem pomocí bavlněné textilie.

#### 5.1.5 Broušený, odmaštěný a mořený vzorek

Povrch vzorku (bez úpravy od výrobce) byl ručně broušen brusným kotoučem se zrní z poloušlechtilého korundu o zrnitosti 320 zrn/cm<sup>2</sup> a dále odmaštěn technickým lihem pomocí bavlněné textilie. Poté byl vzorek mořen ve vodném roztoku kyseliny chlorovodíkové o koncentraci 10 % po dobu 20 minut. Na závěr byly vzorky opláchnuty ponorem v destilované vodě a osušeny papírovými utěrkami [17].



Obrázek 5 Závislost doby moření na koncentraci kyseliny chlorovodíkové [17]

## **5.2 Zkouška smáčivosti kapkovou metodou**

### **5.2.1 Oblast užití**

Tato zkouška je založena na určení smáčivosti pomocí kontaktního úhlu, který je svírán mezi kapkou kapaliny a povrchem pevné látky. Dle velikosti kontaktního úhlu lze povrchy rozdělit na vodou smáčivé, když je kontaktní úhel menší než 90°, a vodou nesmáčivé, pokud je kontaktní úhel větší než 90°. Kapková metoda je vhodná pro potřeby porovnání různých substrátů, pro provedení je potřeba pouze malého množství vody a ovlivňuje pouze malou oblast povrchu vzorku [18].

### **5.2.2 Pomůcky potřebné k provedení zkoušky**

Pro vykonání zkoušky byla užitá destilovaná voda, injekční stříkačka, fotoaparát a papírové ubrousky na vysušení vzorku.

### **5.2.3 Postup zkoušky**

Na každý vzorek bylo injekční stříkačkou nakapáno pět kapek o objemu 0,2 ml. Kapky byly vyfoceny a vizuálně byla určena smáčivost daného povrchu dle velikosti kontaktního úhlu.

## **5.3 Housenková zkouška přilnavosti**

### **5.3.1 Oblast užití**

Dle firmy Sika CZ lze housenkovou zkouškou přilnavosti zjistit adhezi lepidel, elastických tmelů, čistících prostředků a nátěrů k substrátu. Zkouška je vhodná pro porovnání adheze k různým povrchům a nevyžaduje žádné speciální zařízení či náčiní [19].



### 5.3.2 Pomůcky potřebné k provedení zkoušky

Pro vykonání zkoušky byly užity kleště s dlouhými čelistmi, nůž, lepidlo, aplikační pistole na lepidlo, tryska o průměru 10 mm [19].

Zkouška byla provedena pro lepidlo Den Braven TL 04.40 MAMUT GLUE. Jedná se o jednosložkové lepidlo na bázi MS polymeru vhodné pro lepení konstrukčních i vodotěsných spojů ve stavebním a strojním průmyslu. Zvolené lepidlo je vhodné pro použití na čistý podklad bez částic prachu, mastnoty či oleje. Doba vytvrzení lepidla je 24 hodin při 23 °C [20].

### 5.3.3 Postup zkoušky

Na připravené vzorky byla aplikována housenka lepidla o šířce 10 mm o minimální délce 80 mm. Lepidlo bylo ponecháno k vytvrzení dle specifikace výrobce [19].

Před zahájením zkoušky byl vzorek pevně uchycen, aby bylo zamezeno pohybu. Následně byla housenka lepidla naříznuta u jednoho konce. Tato naříznutá část byla uchycena do kleští a následně tažena od povrchu tak, že byla namotávána na kleště. Při namotávání housenky se zároveň ostrým nožem prováděly příčné řezy ve vzdálenosti několika milimetrů. Po úplném navinutí housenky byla hodnocena jakost adheze mezi lepidlem a základním materiálem. Kvalita adheze se hodnotí procentuálním odhadem kohezního porušení. Při zkoušce je nutné zaznamenat data o podkladu, značení materiálu, použité čištění před aplikací lepidla a skladovací podmínky [19].



Obrázek 6 Provedení housenkové zkoušky



Obrázek 7 Housenka lepidla po vytvrzení

Kvalita adheze se hodnotí číslicemi od jedné do čtyř vyjadřujících procento kohezního porušení:

- 1 – více než 95 % kohezního porušení – uspokojující
- 2 – více než 75 % kohezního porušení – základně uspokojující
- 3 – více než 25 % kohezního porušení – neuspokojující
- 4 – méně než 25 % kohezního porušení – neuspokojující

Pro hodnocení adheze je možné využít i doplňkové symboly:

- P – primer se odděluje od povrchu substrátu
- L – porušení struktury povrchu
- BK – výskyt bublin v lepidle
- B – výskyt dutin na povrchu substrátu
- K – nevytvrzené lepidlo na povrchu substrátu
- S – houbová struktura na povrchu
- F – loupání nátěru z povrchu
- RA – oddělení na okrajích [19].

## **5.4 Odlupová zkouška**

### **5.4.1 Oblast užití**

Lepené spoje jsou obecně velmi slabé proti vlivům namáhání v odlupu. Odlupová zkouška se provádí odtržením slepených vzorků pod úhlem 90° nebo 180°. Tato zkouška je vhodná pro porovnání účinnosti předúpravy povrchu na kvalitu lepeného spoje. Pro potřeby této práce byla navržena zjednodušená odlupová zkouška proveditelná ve zjednodušených domácích podmínkách [1].

### **5.4.2 Pomůcky potřebné k provedení zkoušky**

Zkouška byla vykonána za využití truhlářských svěrek, háčků (tvar písmene S), kbelíku o objemu 15 l a hmotnosti 0,5 kg, vody a skleněné kádinky o objemu 0,5 l.

### **5.4.3 Postup zkoušky**

Připravené vzorky s přeplátovaným spojem o ploše 10x15 mm byly upevněny na podkladovou desku pomocí truhlářských svěrek. Na upevněný vzorek byl pomocí háčku zavěšen kbelík, do kterého byla postupně přilévána voda pomocí kádinky. Tímto byl vzorek postupně namáhán, dokud nedošlo k přerušení spoje. Zavěšením kbelíku na háček a přilítím každé kádinky byl vzorek pod zatížením 0,5 kg. U vzorků byl dále hodnocen typ porušení spoje.



Obrázek 8 Provedení odlupové zkoušky

#### 5.4.4 Hodnocení porušení spoje

Vyhodnocení porušení spoje se dělí na tři typy:

- Adhezní porušení – Kohezní síly jsou větší než adhezní síly
- Kohezní porušení – Adhezní síly jsou větší než kohezní síly
- Kombinované porušení – Adhezní a kohezní síly jsou přibližně stejné, vyskytují se oba typy porušení spoje

Kohezní porušení bývá obvykle preferováno, spoj zůstane v pořádku, ale dochází k selhání uvnitř lepidla či lepeného materiálu [1].

## 6 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI A DISKUZE VÝSLEDKŮ

### 6.1 Zkouška smáčivosti kapkovou metodou

Kapkovou metodou byla stanovena smáčivost povrchu připravených vzorků vodou. Výsledky kapkové zkoušky byly vzájemně porovnány a jsou uvedeny v tabulce 1. Provedení kapkové zkoušky je zobrazeno na obrázcích 9-13.

Tabulka 2 Výsledky zkoušky smáčivosti kapkovou metodou

Úprava povrchu	Kontaktní úhel	Výsledek zkoušky
Bez úpravy	$<90^\circ$	Vodou smáčivý
Kartáčování	$<90^\circ$	Vodou smáčivý
Odmaštění	$<90^\circ$	Vodou smáčivý
Broušení a odmaštění	$<90^\circ$	Vodou smáčivý
Broušení, odmaštění a moření	$<90^\circ$	Vodou smáčivý



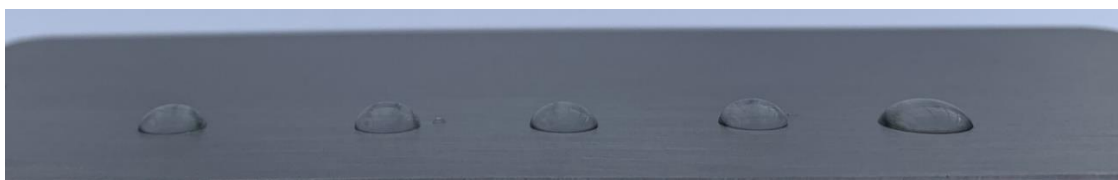
Obrázek 9 Povrch bez úpravy



Obrázek 10 Kartáčovaný povrch



Obrázek 11 Odmaštěný povrch



Obrázek 12 Broušený a odmaštěný povrch



Obrázek 13 Broušený, mořený a odmaštěný povrch

#### *Diskuze výsledků:*

Z výsledků zkoušky smáčivosti je zřejmé, že všechny ze zvolených technologií čištění a předúpravy vedou k vodou smáčivému substrátu. Nejlepší smáčivost vykazují povrchy, které prošly odmaštěním, konkrétně povrch broušený, mořený a odmaštěný a povrch odmaštěný. Rozdíly mezi smáčivostí ostatních vzorků jsou zanedbatelné. U povrchu broušeného a odmaštěného je důvodem většího kontaktního úhlu pravděpodobně nedůkladné odmaštění či opětovná kontaminace povrchu vzorku při manipulaci či při provádění zkoušky. U vzorků, které nebyly odmaštěny byla menší smáčivost povrchu očekávána, ovšem i u těchto vzorků byl kontaktní úhel menší než  $90^\circ$ .

Smáčivost je jedna z klíčových vlastností substrátu pro adhezi a celkový proces lepení. Ze zkoušky smáčivosti kapkovou metodou plyne, že smáčivost povrchu je menší u vzorků, u kterých nebylo provedeno odmaštění technickým lihem. Pro zaručení dostatečné smáčivosti povrchu je tedy vhodné zařadit jeho odmaštění.

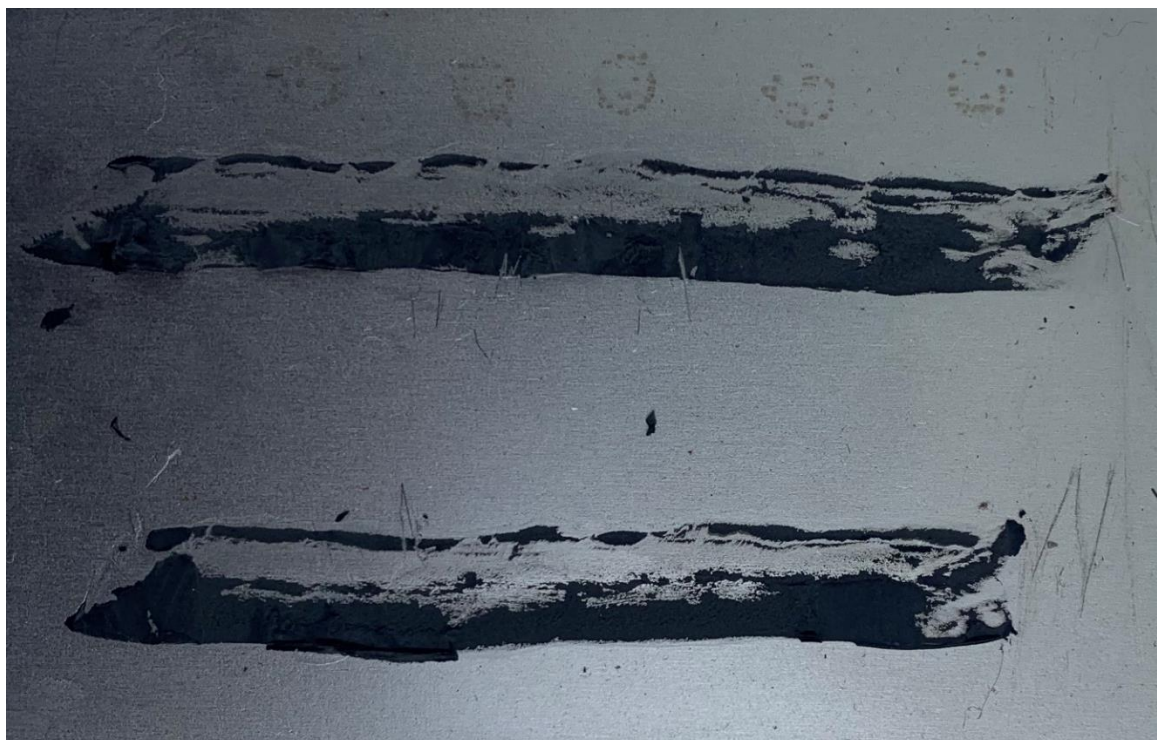
## 6.2 Housenková zkouška přilnavosti

Housenkovou zkouškou přilnavosti byla hodnocena kvalita adheze lepidla k povrchu připravených vzorků. Housenky lepidla byly vytvrzeny a skladovány dle specifikací výrobce. Výsledky zkoušky byly porovnány a jsou zapsány v tabulce 2 a znázorněny na obrázcích 14-18.

Tabulka 3 Výsledky housenkové adhezní zkoušky

Číslo měření	1		2		3	
	Kohezní porušení	Výsledek zkoušky	Kohezní porušení	Výsledek zkoušky	Kohezní porušení	Výsledek zkoušky
<b>Bez úpravy</b>	>25 %	3 - neuspokojující	>25 %	3 - neuspokojující	>25 %	3 - neuspokojující
<b>Kartáčování</b>	>95 %	1 - uspokojující	>95 %	1 - uspokojující	>95 %	1 - uspokojující
<b>Odmaštění</b>	>95 %	1 - uspokojující	>95 %	1 - uspokojující	>95 %	1 - uspokojující
<b>Broušení a odmaštění</b>	>95 %	1 - uspokojující	>95 %	1 - uspokojující	>95 %	1 - uspokojující
<b>Broušení, odmaštění a moření</b>	>95 %	1 - uspokojující	>95 %	1 - uspokojující	>95 %	1 - uspokojující





*Obrázek 14 Vzorek bez úpravy*



*Obrázek 15 Kartáčovaný vzorek*





Obrázek 16 Odmaštěný vzorek



Obrázek 17 Broušený a odmaštěný vzorek



Obrázek 18 Broušený, odmaštěný a mořený vzorek

#### *Diskuze výsledků:*

Po provedení zkoušky bylo zjištěno, že jediné vzorky, u kterých je výsledek neuspokojivý, jsou bez úpravy povrchu. U těchto vzorků je kohezní porušení větší než 25 %, ale menší než 75 % a výsledek – adheze k podkladu je tedy nedostatečná. V ostatních případech je kohezní porušení větší než 95 %, výsledek zkoušky – adheze k základnímu materiálu je dostatečná. Na fotografiích vzorků s uspokojivými výsledky zkoušky je možné pozorovat, že adhezní síly byly větší, než síly kohezní a došlo k narušení soudržnosti lepidla. Z fotografie vzorku bez úpravy povrchu je zřejmé, že ve značné části housenky lepidla došlo k narušení spoje na rozhraní povrchu vzorku a lepidla, tedy byla prokázána nedostatečná adheze k základnímu materiálu.

Ze zkoušky vyplývá, že provedení úpravy povrchu značně zlepšuje adhezi na rozhraní lepidla a substrátu. Pro zvolené lepidlo zaručí dostatečnou adhezi mechanická úprava kartáčováním, odmaštění či kombinace více úprav. Dostatečnou adhezi u vzorků se zařazením zmíněných technologií umožňuje zejména odstranění ulpělých mechanických nečistot, nežádoucích vrstev oxidů, znečištění a mastnoty z povrchu jeho úpravami.

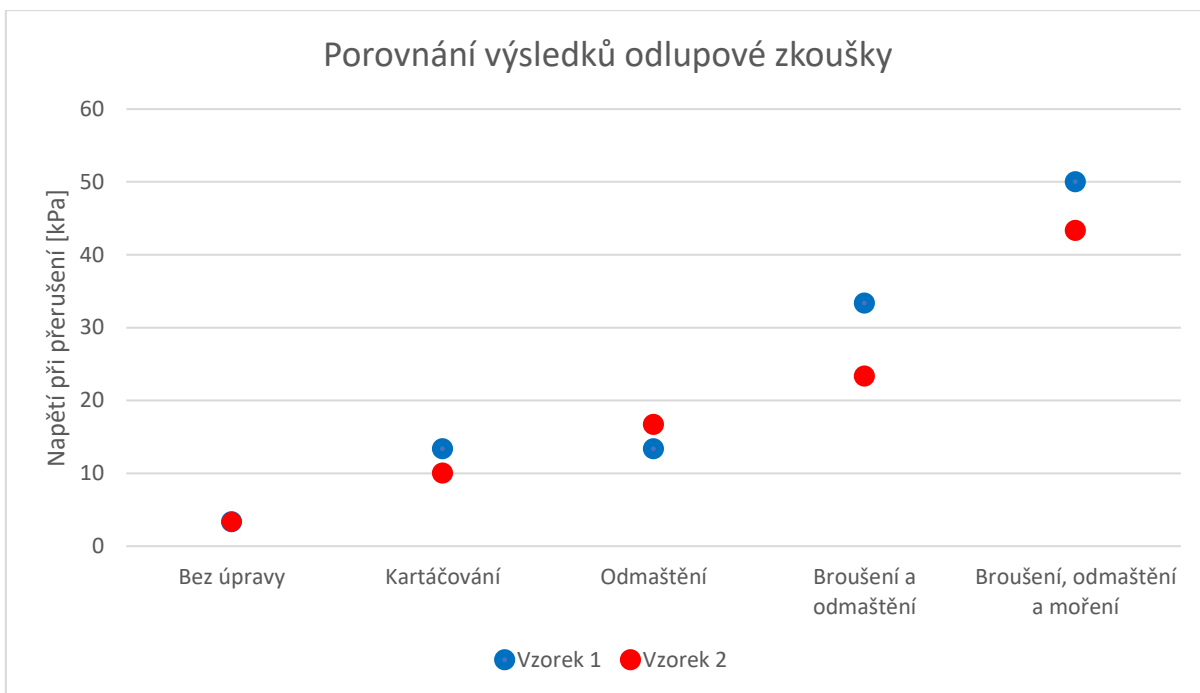
### 6.3 Odlupová zkouška

Odlupovou zkouškou bylo měřeno zatížení při přetržení, z kterého bylo následně vypočteno napětí při přetržení. Dále byl vyhodnocen typ porušení spoje. Připravené vzorky byly vytvrzeny a skladovány dle specifikací výrobce. Výsledky zkoušky byly vyneseny do tabulky 3 a graficky zpracovány do grafu 1.

Tabulka 4 Výsledky odlupové zkoušky

Číslo zkoušky	1			2		
	Zatížení při přerušení [kg]	Napětí při přerušení [kPa]	Typ porušení	Zatížení při přerušení [kg]	Napětí při přerušení [kPa]	Typ porušení
Bez úpravy	0,5	3,33	adhezní	0,5	3,33	adhezní
Kartáčování	2	13,33	kohezní	1,5	10	kohezní
Odmaštění	2	13,33	kohezní	2,5	16,67	kohezní
Broušení a odmaštění	5	33,33	kohezní	3,5	23,33	kohezní
Broušení, odmaštění a moření	7,5	50	kohezní	6,5	43,33	kohezní





Obrázek 19 Grafické znázornění výsledků odlupové zkoušky



Obrázek 20 Vzorek bez úpravy 1



Obrázek 21 Vzorek bez úpravy 2



Obrázek 22 Kartáčovaný vzorek 1



Obrázek 23 Kartáčovaný vzorek 2



Obrázek 24 Odmaštěný vzorek 1



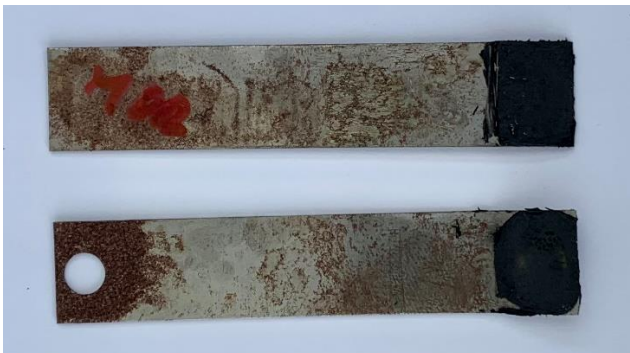
Obrázek 25 Odmaštěný vzorek 2



Obrázek 26 Broušený a odmaštěný vzorek 1



Obrázek 27 Broušený a odmaštěný vzorek 2



Obrázek 28 Broušený, odmaštěný a mořený vzorek 1



Obrázek 29 Broušený, odmaštěný a mořený vzorek 2

### *Diskuze výsledků:*

Vzorky bez úpravy povrchu selhaly při odlupové zkoušce při nejmenším zatížení v porovnání s ostatními. V obou případech zkoušky k narušení spoje došlo již při zavěšení kbelíku a zatížení 0,5 kg. Z fotografií je zřejmé, že v obou případech došlo k adheznímu porušení spoje, které bylo způsobeno nejspíše ulpělou mastnotou a nečistotami na povrchu.

Tento výsledek byl očekáván i podle průběhu zkoušky housenkové adheze. Kartáčované vzorky a odmaštěné vzorky v porovnání dosahovaly porušení při větším zatížení než vzorky bez úpravy. U těchto vzorků došlo ke koheznímu porušení spoje, což bylo předpokládáno dle přechozí adhezní zkoušky. Vzorky s kombinovanou technologií předúpravy pomocí broušení a odmaštění vydržely před přerušením druhé největší zatížení po vzorcích s nejdůkladnější úpravou broušením, odmaštěním a mořením. Díky výsledkům housenkové adhezní zkoušky bylo očekáváno, že všechny vzorky kromě vzorku bez úpravy povrchu budou porušeny kohezně, což bylo potvrzeno.

Z odlupové zkoušky vyplývá, že pro dostatečnou adhezi zvoleného lepidla dostačuje i mechanická úprava kartáčováním, či pouze odmaštění technickým lihem. Pokud je ale na spoj kladen požadavek na pevnost, je vhodné zařadit kombinaci více technologií úpravy povrchu pro zajištění kombinované bezpečnosti spoje. Provedená měření jasně potvrzují, že pevnost spoje značně narůstá při užití chemického i mechanického způsobu úpravy povrchu.

## 7 ZÁVĚR

Lepení je v dnešní době nenahraditelnou technologií pro spojování materiálů. Jelikož je kvalita a pevnost lepeného spoje úzce spjatá se stavem povrchu substrátu, je třeba věnovat zvýšenou pozornost technologiím čištění a předúprav. Cílem této bakalářské práce bylo porovnat různé technologie čištění a předúprav povrchu z hlediska smáčivosti, adheze a pevnosti spoje a určení vhodné předúpravy pro zaručení dostatečné kvality lepeného spoje.

Splnění cílů práce bylo dosaženo skrze experimenty. Smáčivost povrchu vodou byla dostatečná pro všechny vzorky, ale k viditelnému nárůstu smáčivosti došlo u vzorků, kde bylo zařazeno odmaštění technickým lihem.

Adheze byla hodnocena housenkovou adhezní zkouškou. Výsledek zkoušky byl pro vzorky bez úpravy povrchu neuspokojující kvůli velkému podílu adhezního porušení. Pro ostatní vzorky byl výsledek vzorky uspokojující s převažujícím kohezním porušením. Na těchto vzorcích byly provedeny úpravy, které byly dostatečné pro odstranění ulpělých nečistot z povrchu, díky kterým byla adheze mezi lepidlem a substrátem dostatečná.

Porovnání pevnosti lepeného spoje a adheze proběhlo pomocí odlupové zkoušky. Bylo prokázáno, že pro dostatečnou adhezi lepidla je dostačující úprava vzorku mechanicky kartáčováním či chemicky odmaštěním technickým lihem. Z hlediska pevnosti lepeného spoje vydržely největší zatížení vzorky, u kterých byla provedena kombinace mechanické a chemické předúpravy. Největší zatížení vydržel vzorek broušený, odmaštěný a mořený.

Z výsledků experimentů vyplývá, že pro zvýšení kvality lepeného spoje je vhodné zařadit kombinaci chemické a mechanické předúpravy povrchu. Takto zvolenou strategií předúpravy lze dosáhnout dostatečné adheze a vysoké pevnosti lepeného spoje.

## ZDROJE:

- [1] PETRIE, Edward M. *Handbook of Adhesives and Sealants: Third Edition*. 3rd Edition. The McGraw-Hill Companies. ISBN 978-1260440447
- [2] EBNESAJJAD, Sina. *Surface Treatments of Materials for Adhesive Bonding: Second Edition* [online]. 2nd ed. Oxford: Elsevier Science & Technology Books, 2014 [cit. 2020-12-29]. ISBN 978-0-323-26435-8. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/detail.action?docID=1495678>.
- [3] COMYN, John. *Adhesion Science*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1997. ISBN 0-85404-543-0.
- [4] EBNESAJJAD, Sina a Arhur H. LANDROCK. *Adhesives Technology Handbook: Third Edition*. 3rd Edition. Oxford: Elsevier Science & Technology Books, 2009. ISBN 978-0-323-35595-7.
- [5] KREIBICH, Viktor a Karel HOCH. *Koroze a technologie povrchových úprav*. 2. vyd. Praha: ČVUT v Praze, 1991.
- [6] RUDAWSKA, Anna. *Surface Treatment in Bonding Technology*. Lublin: Elsevier Science & Technology Books, 2019. ISBN 978-0-12-817010-6.
- [7] *Povrcháři* [online]. 2020. duben 2020 [cit. 2021-02-10]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: [http://povrchari.cz/kestazeni/202002\\_povrchari.pdf](http://povrchari.cz/kestazeni/202002_povrchari.pdf)
- [8] YOUSSEF, Helmi A., Hassan A. EL-HOFY a Mahmoud H. AHMED. *Manufacturing technology: Materials, Processes, and Equipment* [online]. Boca Raton: CRC Press, 2012 [cit. 2020-12-30]. ISBN 9781138072138. Dostupné z: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/cvut/reader.action?docID=1446302&query=surface+treatment+technology>
- [9] KRAUS, Václav. *Povrchy a jejich úpravy*. Plzeň: Západočeská univerzita, Strojní fakulta, 2009. ISBN 978-80-7082-668-3.
- [10] *Povrcháři* [online]. 2010. říjen 2010 [cit. 2021-02-12]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: [http://povrchari.cz/kestazeni/201008\\_povrchari.pdf](http://povrchari.cz/kestazeni/201008_povrchari.pdf)
- [11] *Povrcháři* [online]. 2010. prosinec 2010 [cit. 2021-02-12]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: [http://povrchari.cz/kestazeni/201010\\_povrchari.pdf](http://povrchari.cz/kestazeni/201010_povrchari.pdf)



- [12] *Povrcháři* [online]. 2008. leden 2008 [cit. 2021-02-12]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: [http://povrchari.cz/kestazeni/200801\\_povrchari.pdf](http://povrchari.cz/kestazeni/200801_povrchari.pdf)
- [13] *Povrcháři* [online]. 2009. březen 2009 [cit. 2021-02-14]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: [http://povrchari.cz/kestazeni/200903\\_povrchari.pdf](http://povrchari.cz/kestazeni/200903_povrchari.pdf)
- [14] *Meritage* [online]. Křovice: Meritage [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: <https://www.meritage.cz/hill-preduprava-plamenem/>
- [15] *Developments in Surface Contamination and Cleaning: Detection, Characterization, and Analysis of Contaminants* [online]. Volume 4. Oxford: Elsevier, 2012 [cit. 2021-8-1]. ISBN 978-1-4377-7883-0. Dostupné z: [https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpDSCCVDC4/cid:kt00BFMAD2/viewerType:khtml//root\\_slug:developments-in-surface/url\\_slug:methods-monitoring-measuring?b-q=surface%20cleanliness%20test&include\\_synonyms=yes&sort\\_on=default&page=4&view=collapsed&zoom=1&q=surface%20cleanliness%20test](https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rcid:kpDSCCVDC4/cid:kt00BFMAD2/viewerType:khtml//root_slug:developments-in-surface/url_slug:methods-monitoring-measuring?b-q=surface%20cleanliness%20test&include_synonyms=yes&sort_on=default&page=4&view=collapsed&zoom=1&q=surface%20cleanliness%20test)
- [16] SPECIFICATION BULLETIN LP-0862-A. Q-LAB [online]. Westlake: Q-LAB, 2021 [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://www.q-lab.com/documents/public/53630802-cc1d-47d8-a9c4-f59006bc2990.pdf>
- [17] VÁŇA, Pavel. MOŘENÍ V KYSELINĚ SOLNÉ. EKOMOR [online]. Frýdek-Místek: EKOMOR, 2016 [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <http://www.ekomor.cz/wp-content/uploads/2017/04/Mo%C5%99en%C3%AD-v-kyselin%C4%9B-soln%C3%A9-Konference-OP-2016-min.pdf>
- [18] JANATA, Michal. *Plazmová úprava polymerních materiálů pro zlepšení povrchových vlastností při lepení*. Liberec, 2012. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní.
- [19] JIRÁK, Jan. *Lepení interiérových dílů autobusů - SOR Libchavy*. Pardubice, 2013. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera.
- [20] Technický list TL 04.40 MAMUT GLUE. *Den Braven* [online]. Úvalno: Den Braven Czech and Slovak, 2019 [cit. 2021-8-6]. Dostupné z: <https://samepage.io/public#!/T9C8MwgJMkSAhO2D9Bly2OyuiRGjw>

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Kategorie hodnocení znečištění [15] .....	35
Tabulka 2 Výsledky zkoušky smáčivosti kapkovou metodou .....	45
Tabulka 3 Výsledky housenkové adhezní zkoušky .....	47
Tabulka 4 Výsledky odlupové zkoušky .....	51

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Vliv koncentrace kyseliny chlorovodíkové na rychlost moření [9] .....	29
Obrázek 2 Vliv koncentrace kyseliny sírové na rychlost moření [9].....	30
Obrázek 3 Vzorek pro odlupovou zkoušku .....	37
Obrázek 4 Schéma vzorku pro odlupovou zkoušku.....	38
Obrázek 5 Závislost doby moření na koncentraci kyseliny chlorovodíkové [17] .....	39
Obrázek 6 Provedení housenkové zkoušky .....	41
Obrázek 7 Housenka lepidla po vytvrzení .....	42
Obrázek 8 Provedení odlupové zkoušky.....	44
Obrázek 9 Povrch bez úpravy .....	45
Obrázek 10 Kartáčovaný povrch.....	45
Obrázek 11 Odmaštěný povrch .....	46
Obrázek 12 Broušený a odmaštěný povrch.....	46
Obrázek 13 Broušený, mořený a odmaštěný povrch .....	46
Obrázek 14 Vzorek bez úpravy .....	48
Obrázek 15 Kartáčovaný vzorek .....	48
Obrázek 16 Odmaštěný vzorek.....	49
Obrázek 17 Broušený a odmaštěný vzorek .....	49
Obrázek 18 Broušený, odmaštěný a mořený vzorek.....	50
Obrázek 19 Grafické znázornění výsledků odlupové zkoušky .....	52
Obrázek 20 Vzorek bez úpravy 1....	52
Obrázek 21 Vzorek bez úpravy 2.....	52
Obrázek 22 Kartáčovaný vzorek 1.....	52
Obrázek 23 Kartáčovaný vzorek 2.....	52
Obrázek 24 Odmaštěný vzorek 1.....	53
Obrázek 25 Odmaštěný vzorek 2.....	53
Obrázek 26 Broušený a odmaštěný vzorek 1.....	53
Obrázek 27 Broušený a odmaštěný vzorek 2.....	53
Obrázek 28 Broušený, odmaštěný a mořený vzorek 1.....	53
Obrázek 29 Broušený, odmaštěný a mořený vzorek 2.....	53

## Seznam příloh

Příloha 1 Technický list lepidla Den Braven TL 04.40 MAMUT GLUE.....	61
--	----



# Den Braven



#### Balení

- Kartuše 290 ml
- Tuba 25 ml

#### Barva

- Bílá
- Černá
- Šedá

## Technický list

### TL 04.40 MAMUT GLUE (High Tack)

#### Výrobek

Moderní jednosložkové lepidlo, na bázi MS polymeru s okamžitou fixací a mimořádně vysokou počáteční přídržností až 500 kg/m<sup>2</sup>. Speciálně vyvinuté pro lepení bez nutné fixace spojů – drží okamžitě. Vytvrzuje vulkanizací vzdušně vlhkostí, vytváří vysokopevnostní, elastický spoj.

#### Vlastnosti

- Okamžitá přídržnost až 500 kg/m<sup>2</sup>
- Vysoká konečná pevnost 22 kg/cm<sup>2</sup> (220 000 kg/m<sup>2</sup>)
- Vysokomodulový
- Rychle vytvrzující, bez zápachu
- Vysoká přilnavost k podkladu – i na matně vlhké podklady
- Trvale pružné, odolné vlhku a vodě (vodotěsný spoj), povětrnostním vlivům
- Bez obsahu izokyanátů, rozpouštědel, ftalátů a silikonu
- Po vytvrzení přetíratelný vhodnými disperzními barvami (mimo alkydových pryskyřic)
- Lepené předměty není třeba fixovat. Spoj „drží“ bez použití svěrek a podepření

#### Použití

Lepení konstrukčních vodotěsných spojů ve stavebním a strojním průmyslu. Lepení v interiérech i exteriérech budov. Lepení konstrukčních dílů automobilů, autobusů, karavanů, osobních vagonů. Lepení dílů karoserií – kov na kov (pohlcuje vibrace). Lepení nerezové oceli, hliníku, mědi, olova, skla, PS, PUR, PVC a některých druhů plastů, betonu, keramických dlaždic, smaltu, zrcadel, dřeva, zdíva, sádrokartonu apod. Lepení schodnic, parapetů, podlahových lišt, obkladových prvků apod.

#### Technické údaje

<b>Základ</b>	-	MS polymer	
<b>Konzistence</b>	-	tixotropní pasta	
<b>Hustota</b>	g/ml	1,57	
<b>Tepelná odolnost</b>	°C	-40 / +90	(po vytvrzení)
<b>Tepelná odolnost</b>	°C	-15	(při přepravě)

**DEN BRAVEN**  
Czech and Slovak a.s.

793 91, Úvalno 353  
Česká republika

IČO: 26872072  
DIČ: CZ26872072

+420 554 648 200  
info@denbraven.cz

[www.denbraven.cz](http://www.denbraven.cz)



<b>Aplikační teplota</b>	°C	+5 / +40	
<b>Rychlost nanášení</b>	g/min	20	(při síle 3 mm a tlaku 6,3Bar)
<b>Doba vytvoření povrch. slupky</b>	min	≈ 10–15	
<b>Rychlost vytvrzení</b>	mm	2–3	(za 24 h / při 23 °C / 55 % rel. vlhk.)
<b>Stékavost</b>	mm	< 2	(dle ISO 7390)
<b>Dilatační schopnost</b>	%	± 25	
<b>Tažnost</b>	%	335	
	%	250 ± 50	ČSN EN ISO 527
<b>Modul 100 %</b>	MPa	1,39 (N/mm <sup>2</sup> )	
<b>Pevnosti v tahu</b>	MPa	2,20 (N/mm <sup>2</sup> )	DIN 53 504
<b>Pevnost ve smyku</b>	MPa	1,41 (N/mm <sup>2</sup> )	ČSN EN 1465 k hliníku, laminu
	MPa	≈ 1,95	ČSN EN 1465 odmaštěný pozink. plech
	MPa	≈ 1,75	ČSN EN 1465 neodmaštěný pozink. plech
<b>Přidržnost k podkladu</b>	MPa	1,22 k hliníku, laminu	ČSN 73 2577
	MPa	0,25 ± 0,04 k omítce	STN 73 2577 – porušení v podkladu
	MPa	1,40 ± 0,05 beton	ČSN 73 2577
	MPa	1,30 ± 0,05 dřevo	ČSN 73 2577
	MPa	0,92 ± 0,05 sklo	ČSN 73 2577
	MPa	0,95 ± 0,05 lak. dřevo	ČSN 73 2577
<b>Počáteční smyková přidržnost</b>	MPa	1,48	ČSN EN 1324, čl. 7.2 požad. ≥ 1,0 MPa
<b>Smyková přidržnost po ponoření do vody</b>	MPa	1,02	ČSN EN 1324, čl. 7.3 požad. ≥ 0,5 MPa



<b>Smyková přídržnost po tepelném stárnutí</b>	MPa	1,12	ČSN EN 1324, čl. 7.4 požad. $\geq 1,0$ MPa
<b>Smyková přídržnost při zvýšené teplotě</b>	MPa	1,04	ČSN EN 1324, čl. 7.5 požad. $\geq 1,0$ MPa
<b>Skluz</b>	mm	0,0	ČSN EN 1308 požadavek $\leq 0,5$ mm
<b>Reakce na oheň</b>	-	E	obsah org. látek $<40$ % hmotností
<b>Tvrdost dle Shore A (3 s)</b>	°	$55 \pm 3$	dle DIN 53 505

### Podklad

Musí být čistý, pevný, bez volných částic prachu, mastnot a oleje.

### Omezení

Mimo jiné není vhodné pro použití na PE, PP, PC, PMMA, měkké plasty, teflon, asfalt a živичné podklady. Není vhodné na trvalé zatížení vodou a v kontaktu s chlorem.

### Specifikace

Zlepšené dimerní lepidlo se sníženým skluzem – D2T dle EN 12004:2007 + A1:2012

Vyhoví zatížení podle ČSN 73 0035 čl. 234 –Po průkazní zkoušce (třikrát opakované zatížení) nedošlo k porušení výplně balkónového zábradlí, k poškození jejího uchycení v rámu, ztrátě použitelnosti.

### Pokyny

Podklad musí být čistý, pevný, bez volných částic prachu, mastnot a oleje.

Nasaďte aplikační špičku a lepidlo nanášejte pomocí aplikační pistole jednostranně. Aplikujte přiměřené množství vzhledem k hmotnosti a velikosti lepeného předmětu. Lepené plochy k sobě přiložte a silně přitlačte s mírným posunutím do 10 minut.

Pozn.: Při aplikaci přes speciální špičku, která je k výrobku standardně dodávána, je možné z jednoho balení vytlačit okolo 4 bm.

### Upozornění

Před vytvrzením (2-3 mm / 24 hodin při 23 °C) nezatěžujte lepený spoj většími silami.

### Čištění

Materiál: ihned technickým benzínem / Extra silné čisticí a vlhčené ubrousky

Ruce: voda a mýdlo, reparační krém na ruce / Extra silné čisticí a vlhčené ubrousky

### Bezpečnost

Viz «Bezpečnostní list 04.40».

### Skladovatelnost

V suchu a neotevřeném obalu, při teplotách od +5 °C do +25 °C.



# Den Braven

## **Aktualizace**

Aktualizováno dne: 14.01.2019

Vyhotoveno dne: 31.08.2004

*Výrobek je v záruční době konformní se specifikací. Uvedené informace a poskytnuté údaje spočívají na našich vlastních zkušenostech, výzkumu a objektivním testování a předpokládáme, že jsou spolehlivá a přesná. Přesto firma nemůže znát nejrůznější použití, kde a za jakých podmínek bude výrobek aplikován, ani použité metody aplikace, proto neposkytuje za žádných okolností záruku nad rámec uvedených informací, co se týče vhodnosti výrobků pro určitá použití ani na postupy použití. Výše uvedené údaje jsou všeobecné povahy. Každý uživatel je povinen se přesvědčit o vhodnosti použití vlastními zkouškami. Pro další informace prosím kontaktujte naše technické oddělení.*